

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Možnosti využití technické diagnostiky  
pro objektivizaci technického stavu  
zařízení pro dopravu plynů**

Deployment of Technical Diagnostics for  
Evaluation of Gas Transport Equipment

Student:	Bc. Přemysl Humpolec
Osobní číslo:	HUM0023
Vedoucí diplomové práce:	Ing. David Šeděnka Ph.D.

Ostrava 2020

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Přemysl Humpolec**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: Možnosti využití technické diagnostiky pro objektivizaci technického stavu zařízení pro dopravu plynů  
Deployment of Technical Diagnostics for Evaluation of Gas Transport Equipment  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce se zabývejte problematikou technické diagnostiky strojního zařízení pro dopravu plynů. Rozeberte tuto problematiku, navrhněte a zvažte vhodné metody pro sledování jejich technického stavu. Popište přístrojovou techniku a softwarové nastavení pro tuto aplikaci. Proveďte potřebná měření a vyhodnocení naměřených dat.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Rozsah práce min. 45 stran textu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

FS\_SME\_05\_003 *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce* Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2018. 20 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Šeděnka**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech zařízení pro dopravu plynu a historii podzemního zásobníku plynu v Třanovicích získaných od firmy innogy Gas Storage, Třanovice, firma s jejich zveřejněním souhlasí

V Ostravě dne 2. října 2020

A handwritten signature in blue ink, reading "Přemysl Humpl", written over a dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



Podpis studenta

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HUMPOLEC, P. *Možnosti využití technické diagnostiky pro objektivizaci technického stavu zařízení pro dopravu plynů: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 58 s. Vedoucí práce, ŠEDĚNKA, D.

Tato diplomová práce se bude zabývat zařízeními pro dopravu zemního plynu. V úvod se zmiňuji o historii plynárenství ve světě a v Česku. Následuje popis plynových zásobníků plynu. Celá práce bude zaměřena na podzemní zásobník plynu v Třanovicích, jeho technické parametry a zejména na turbokompresory Solar Turbines. Popíšu zařízení pro dopravu plynu, která jsou na území PZP Třanovice využívána. Zmíním postup a důvod pro zavedení turbokompresorů. Zaměřím se na údržbu a monitorování těchto kompresorů. K tomuto kroku chci využít mé znalosti o technické diagnostice a následně je aplikovat jako prostředek pro získávání informací a zároveň navrhnout možná řešení v údržbě na základě mých získaných dat.

**Klíčová slova:** Podzemní zásobník plynu, turbokompresor, mazací systém, olej

## ANNOTATION DIPLOMA THESIS

HUMPOLEC, P. *Possibilities of using technical diagnostics for objectification of technical condition of gas transport equipment: diploma thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 58 pp. Thesis supervisor, ŠEDĚNKA, D.

This diploma thesis will deal with equipment for the transport of natural gas. In the introduction, I mention the history of the gas industry in the world and in the Czech Republic. The following is a description of the gas storage tanks. The whole work will focus on the underground gas storage in Třanovice, its technical parameters and especially on the Solar Turbines turbochargers. I will describe the facilities for gas transport that are used in the PZP Třanovice. I will mention the procedure and the reason for the introduction of turbochargers. I will focus on the maintenance and monitoring of these compressors. For this step, I want to use my knowledge of technical diagnostics and then apply it as a means of obtaining information and at the same time suggest possible solutions in maintenance based on my acquired data.

**Keywords:** Underground gas storage, turbocharger, lubrication system, oil

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH JEDNOTEK .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>1 PLYNÁRENSTVÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 HISTORIE PLYNÁRENSTVÍ.....	12
1.2 PLYNÁRENSTVÍ V SOUČASNOSTI .....	13
1.3 DOPRAVA ZEMNÍHO PLYNU V EVROPĚ A DO EVROPY .....	14
1.4 CESTY ZEMNÍHO PLYNU KE SPOTŘEBITELŮM.....	15
1.5 PODZEMNÍ ZÁSOBNÍKY PLYNU .....	15
<b>2 PODZEMNÍ ZÁSOBNÍK PLYNU TŘANOVICE (PZP TŘANOVICE) .....</b>	<b>17</b>
2.1 HISTORIE PZP TŘANOVICE .....	17
2.2 PRŮBĚH VÝSTAVBY PZP TŘANOVICE .....	19
2.3 ZAŘÍZENÍ PRO DOPRAVU PLYNU V PZP TŘANOVICE.....	22
2.3.1 Plynové filtry.....	22
2.3.2 Sušení plynu .....	23
2.3.3 Sondy.....	24
2.3.4 Řídicí systém .....	26
2.4 ZMĚNA PARAMETRŮ PZP TŘANOVICE .....	27
<b>3 TURBOKOMPRESORY .....</b>	<b>28</b>
3.1 KOMPRESOROVÁ SADA TAURUS .....	28
3.1.1 Popis funkce turbokompresoru.....	29
3.2 MAZACÍ SYSTÉM TURBOKOMPRESORŮ TAURUS 60 S .....	31
3.2.1 Požadavky na mazací olej .....	31
3.2.2 Systémy mazacího oleje.....	33
3.2.3 Nádrž mazacího oleje.....	35
3.2.4 Filtrace mazacího oleje.....	35
3.3 ANALÝZA MAZACÍHO OLEJE.....	37
3.3.1 Atomová spektrometrie.....	37
3.3.2 Opotřebované kovy.....	38
3.3.3 Nečistoty .....	39
3.3.4 Optická zkouška na přítomnost částic .....	39
3.3.5 Přídavné látky v oleji .....	39
3.3.6 Zkouška fyzikálních vlastností.....	40
3.3.7 Zkouška zpěňováním .....	42

3.3.8 Postupy pro odebírání vzorků .....	43
3.4 VYUŽITÍ TRIBODIAGNOSTIKY KE ZJIŠTĚNÍ TECHNICKÉHO STAVU TURBOKOMPRESORŮ.....	45
3.4.1 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar HP 1 .....	45
3.4.2 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar HP 2 .....	48
3.4.3 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar LP 1 .....	50
3.4.4 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar LP 2 .....	52
3.3.5 Zhodnocení technického stavu olejové náplně a samotných turbokompresorů .....	54
<b>4 ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
<b>ZDROJE .....</b>	<b>57</b>



## Seznam použitých zkratk

Název	Význam
PZP	podzemní zásobník plynu
ZP	zemní plyn
HP	(high pressure) vysokotlaký turbokompresor
LP	(low pressure) nízkotlaký turbokompresor
TAN	(total acid number), číslo celkové kyselosti
TBN	(total based number), číslo celkové zásaditosti
s.r.o	společnost s ručením omezeným
a. s.	akciová společnost
RBOT	rotary Bomb Oxidation test
ZAP	západní pole
ICP OES	(Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy), Atomová emisní spektrometrie s indukčním vázaným plazmatem
PSP	periodická soustava prvků
TEG	triethylenglykolem

## Seznam použitých jednotek

Význam	Zkratka jednotky	Jednotka
Čas	s	sekunda
	min	minuta
Délka	mm	milimetr
Hmotnost	kg	kilogram
Hydraulický tlak	MPa	megapascal
Jmenovité otáčky	$\text{min}^{-1}$	otáčky za minutu
kinematická viskozita	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	milimetr čtverečný za sekundu
Objem	$\text{cm}^3$	centimetr krychlový
	l	litr
Objemový průtok	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$	kubických metrů za den
rychlost	$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	kilometr za hodinu
rozloha	ha	hektar
Teplota	$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia
Točivý moment	Nm	Newton metr
Výkon	kW	kilowatt
Měrná hmotnost	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	kilogram na metr krychlový
Čistota	$\mu\text{m}$	mikrometr, mikron
TAN – číslo kyselosti	$\text{mgKOH} \cdot \text{g}^{-1}$	počet mg hydroxidu draselného na neutralizaci 1 gram oleje

## Úvod

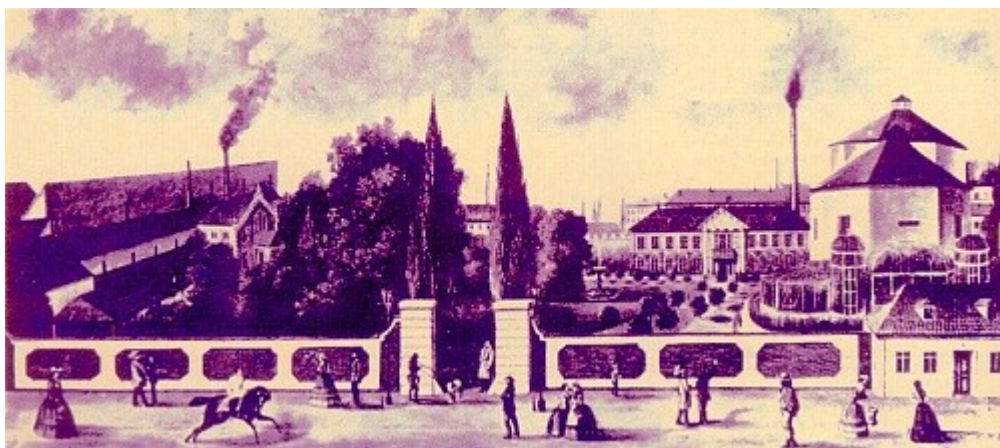
Oblast plynárenství je velkým fenoménem poslední doby. Těžba zemního plynu se pro běžné použití začala masivně rozvíjet v půlce minulého století. V dnešní době je možné zemní plyn využívat v drtivé většině domácností (jak pro vaření, tak topení), továren, a poslední dobou i v automobilovém průmyslu jako palivo motorů. Zemní plyn je dopravován pomocí potrubí z podzemních zásobníků plynu. Tyto zásobníky pro vyšší rychlost dopravy plynu využívají kompresory. Kompresory kromě zvýšení rychlosti dopravy plynu také umožňují dopravovat zemní plyn s vyšším tlakem. Jako všechna zařízení vyžadují servis a pravidelnou kontrolu. K tomu, aby byly tyto stroje v bezporuchovém stavu po nejdelší možnou dobu, se využívají metody technické diagnostiky. Jednou z nich je Tribodiagnostika. Ta využívá mazivo ke zjištění technického stavu stroje i samotného maziva.

V mé diplomové práci popíšu vývoj těžby zemního plynu, uvedu zařízení pro dopravu plynu. Hlavním cílem mé diplomové práce je popis a údržba mazací části turbokompresorů Solar Turbines a pomocí metod tribodiagnostiky, vyhodnocení stavu stroje a porovnání měřených výsledků. Dalším cílem budou možná doporučení pro případné zlepšení některých vyhodnocených parametrů oleje zjištěných v laboratoři.

# 1 Plynárenství

## 1.1 Historie Plynárenství

Plynárenstvím se začalo lidstvo více zajímat v roce 1813, kdy byl poprvé plynem osvětlován Westminsterský most v Londýně. Jednalo se ale tehdy o jedovatý svítiplyn. Tento svítiplyn se vyráběl v plynárnách při karbonizaci černého uhlí. Svítiplyn se zpočátku využíval jen k osvětlování ulic, nicméně za krátkou dobu se přišlo na to, že lze tento svítící plyn využívat i jinak než k osvětlení. Po nějakém čase jeho využívání jako svítiplyn nahradila elektřina. Nicméně název mu zůstal stejný i nadále. [1]



*Obr. 1- První plynárna v Praze Karlíně [1]*

První plynárna v ČR byla uvedena do provozu roku 1847 v Karlíně. A ve své době byla využívána stále ještě k osvětlování pro asi 200 pouličních lamp. Během 2. světové války byla v Záluží u Mostu vytvořena první moderní tlaková plynárna. Od začátku roku 1958 bylo zahájeno zapojování zemního plynu do našeho plynárenství. Roku 1967 byla do tehdejšího Československa dopravena první dodávka zemního plynu z bývalého sovětského svazu. Roku 1973 se začalo ve větší míře přecházet ze svítiplynu na zemní plyn. Přechod byl ukončen v roce 1978. Od té doby se svítiplyn nepoužíval. Velké využití má také plyn s názvem propan- butan získávaný při destilaci ropy. Ke spotřebitelům je zkapalněný dodáván v tlakových lahvích různých velikostí a slouží hlavně tam, kde distribuční síť zemního plynu nedosahuje například na chatách nebo v oblasti turistiky.

## 1.2 Plynárenství v současnosti

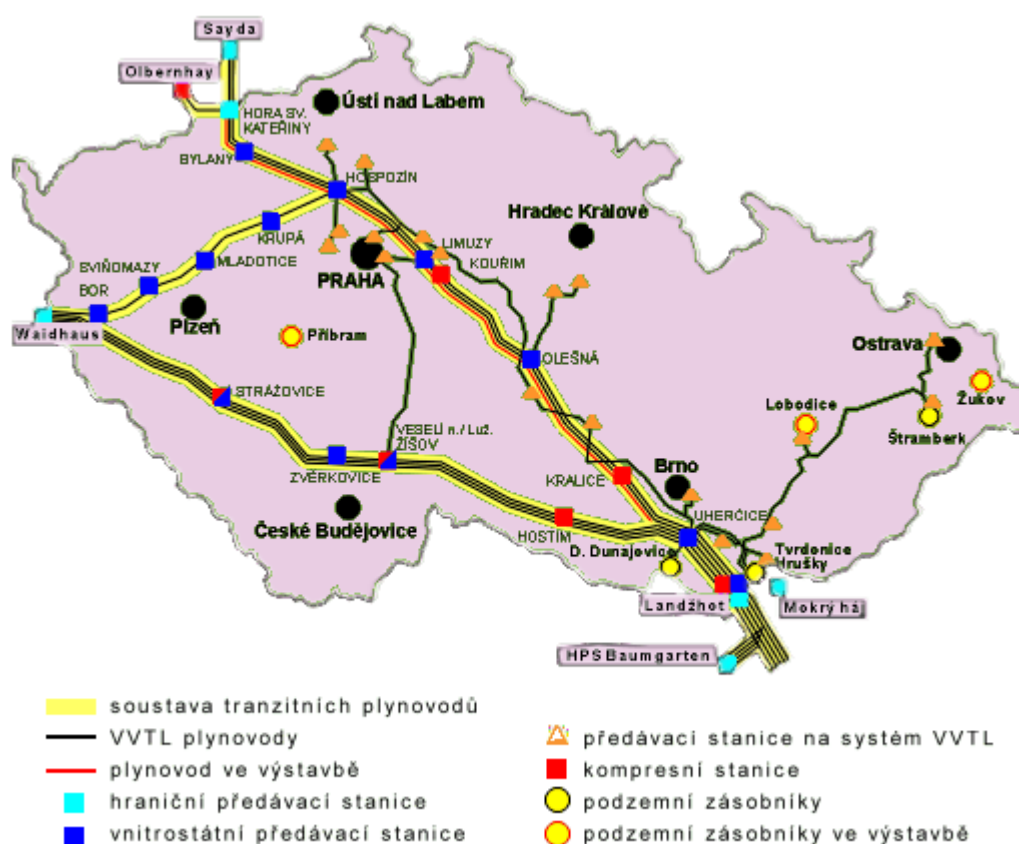
V současné době slouží zemní plyn hlavně jako zdroj tepelné energie. Je využíván ve většině domácností k vaření ohřevu vody a topení. Také postupně nahrazuje uhlí ve výtopnách, teplárnách a elektrárnách. Za posledních pár let je taktéž využíván pro pohon osobních aut a autobusů. Zemní plyn, na rozdíl od svítiplynu, není jedovatý a je bez zápachu. Aby bylo možné kontrolovat únik tohoto plynu, je do něj před vypuštěním do distribuční sítě přidávána výrazně páchnoucí složka (odorizace). Zemní plyn je v mnoha případech upřednostňován před jinými energiemi, protože je jako všechna fosilní paliva prvotním zdrojem energie. Tím pádem u něho odpadají ztráty vznikající při výrobě elektřiny. Po spálení nezanechává popel jako většina pevných paliv. Lze ho rozvézt tak jako elektřinu až ke spotřebitelům téměř beze ztrát. Výhody zemního plynu v regulovatelnosti přívodu, měřitelnosti spotřeby a pohodlnosti obsluhy jsou téměř srovnatelné jako u elektřiny. Jeho tepelná účinnost je ovšem vyšší. Další předností je také to, že po jeho vyčištění a při řádném spalování zanechává ve vzduchu mnohem menší množství zplodin škodících životnímu prostředí. I přesto, že plynofikace se vyvíjí ku předu, pro Českou republiku ji nelze zcela využít, protože většinu zemního plynu musíme dovážet. [1]



Obr. 2 - Evropská síť dálkových plynovodů červenou barvou, žlutou jsou vyznačeny rozestavěné trasy či terminály [1]

### 1.3 Doprava zemního plynu v Evropě a do Evropy

Doprava zemního plynu do Evropy je zajišťována plynovody. Celková délka plynovodů do Evropy je přes 430 000 km, celosvětově je to pak 1 250 000 km. Více než polovinu evropských vysokotlakých plynovodů vlastní Rusko. Pouze asi 1,5 % zemního plynu, který se u nás za rok spotřebuje, je krytý vlastní těžbou z ložisek na Hodonínsku. Takže větší část zemního plynu je dovážena výhradně z Ruska. První zemní plyn k nám začal proudit z Ukrajiny 540 km dlouhým plynovodem v roce 1967. Od roku 1972 začal fungovat tranzitní plynovod, kterým přes české území proudí plyn z Ruska do západní Evropy. Tranzitní plynovod se pak stále rozrůstal vlivem větší spotřeby. Postupně byly položeny tři a čtyři souběžné linky přes tehdejší Československo (čtyři pro jižní Moravu a tři odtud dále na západ). Plynovod překračuje hranice Slovenska v mezinárodní předávací stanici ve Velkých Kapušanech a zde je plyn větven a poslán do Rakouska v Baumgartenu u Slovenských hranic, dále pak Německa ve Waidhausu a v Hoře sv. Kateřiny v Krušných horách. [1]



Obr. 3 - Přepavní systém Innogy Gas Storage [1]

## 1.4 Cesty zemního plynu ke spotřebitelům

Zemní plyn je dnem i nocí dopravován potrubím do předávacích stanic. Pro větší rychlost a větší přepravní tlak, jsou nasazeny kompresory, díky kterým se plyn v potrubí pohybuje rychlostí až 80 km/h. Hlavní potrubí má průměr až 122mm. Zemní plyn se stejně jako všechna fosilní paliva nepoužívá v tom stavu, v jakém byl vytěžen. Takže je po přivedení plynovodem čištěn a to zejména od plyných uhlovodíků (propan, butan) dále od dusíku, vody, síry, popřípadě hélia. Čištění zemního plynu je prováděno v různých objektech a odloučené látky jsou, pokud je to možné, využívány jako vedlejší produkty. Čistý zemní plyn se pak uskládá, v Česku pouze do podzemních zásobníků. [1]

## 1.5 Podzemní zásobníky plynu

V České Republice existuje 9 podzemních zásobníků zemního plynu. Šest je ve vlastnictví společnosti innogy Gas Storage, s.r.o. (od 1. října 2016 byla přejmenována z původní RWE Gas Storage, s.r.o.) a patří do skupiny innogy SE. Jedná se o PZP Dolní Dunajovice, Háje, Lobodice, Štramberk, Třanovice a Tvrdonice. PZP Uhřetice provozuje MND Gas Storage, a.s., Moravia Gas Storage, a.s. provozuje PZP Dambořice. Obě společnosti jsou součástí skupiny MND Group AG. (NET4GAS, 2017). Na území České Republiky se nachází ještě PZP Dolní Bojanovice, jehož provozovatelem je slovenská SPP Storage, s.r.o. [3]



*Obr. 4 - PZP Lobodice [2]*

Nejstarší ze zásobníků v ČR je PZP Lobodice. Prvním ze zásobníků vybudovaných z vytěženého plynového ložiska je PZP Tvrdonice. Podzemní zásobníky zemního plynu (PZP) jsou nezbytnou součástí plynárenského dopravního systému. Zatímco v počátcích jejich zavádění se uplatňovaly hlavně pro krytí sezónních odběrů, v současnosti také pozitivně působí na celý systém přepravy zemního plynu. Souvisí to s vysokým nárůstem spotřeby plynu a nutností dopravovat plyn stále na větší vzdálenosti. Zdroje ZP se často nacházejí v místech značně vzdálených od míst hlavní spotřeby, kterými jsou dnes především průmyslově rozvinuté státy. Přitom téměř 80% světových zásob ZP se nachází do 5 000 km od největších spotřebitelů v Evropě, což umožňuje dopravu této suroviny plynovody. [3]

Protože právě tranzitní plynovody, přepravující vytěžený plyn k spotřebitelům, disponují relativně omezenou maximální propustností, mají tranzitní dodávky nestabilní charakter a nejsou schopny pokrýt zvýšenou poptávku po plynu v distribuční plynárenské síti. Právě řešení tohoto problému je hlavním úkolem pro podzemní zásobníky plynu (PZP), které operativní regulací zajišťují stabilitu a spolehlivost celého plynárenského systému. Vazba transportního systému plynovodů na provoz PZP tak umožňuje dosáhnout své maximální kapacity.

PZP představují investičně a technicky náročná zařízení, které jsou pro český plynárenský trh nezbytné z důvodů :

- Česká republika takřka zcela závislá na dodávkách zemního plynu, který musí odebírat v podstatě rovnoměrně po celý rok
- tím, že se rozdíl mezi letní a zimní spotřebou při stoupající celoroční spotřebě zvyšuje, je nutné ukládat zejména letní přebytky a naopak v zimních měsících posilovat zvýšenou poptávku trhu
- stát musí mít strategické zásoby pro případ výpadku dodávek od v podstatě monopolního dodavatele z území bývalého Sovětského svazu



## 2 Podzemní zásobník plynu Třanovice (PZP Třanovice)

### 2.1 historie PZP Třanovice

V rámci zvyšování uskladňovacích kapacit stávajících podzemních zásobníků zemního plynu v České republice byla společností RWE-TRANSGAS,a.s. realizována výstavba podzemního zásobníku plynu v Třanovicích. Výstavbě zásobníku předcházela oprava 12 starých odvrtání a 16 nových vláčně-těžebních sond, na něž v červenci 1999 navázala výstavba centrálního areálu s technologickými zařízeními. Dokončení stavby a její zprovoznění proběhlo na podzim roku 2000. Celkové náklady stavby si vyžádaly téměř 900 milionů korun. Generálním dodavatelem projektové dokumentace byl Plynoprojekt Praha, a.s., a generálním dodavatelem stavebně montážních prací Plynostav-regulace plynu s.r.o. Pardubice.



*Obr. 5 - PZP Třanovice*

PZP Třanovice se nachází na severní Moravě 4-14 km jihozápadně od města Český Těšín v oblasti mezi obcemi Horní Žukov - Třanovice - Hradiště - Koňakov. PZP je vybudován v prostorech bývalého ložiska plynu, ze kterého bylo v letech 1949 - 1989 vytěženo cca 1,1 mld m<sup>3</sup> plynu. Celé ložisko se skládá ze 4 samostatných celků, a to Nového pole (NP), Západní pole (ZAP), Čočky a Starého pole. Pro účely PZP jsou v současnosti využívány objekty NP, ZAP a Čočky. Z geologického hlediska je ložisko

umístěno ve vrcholové části pohřbeného karbonského tzv. "Žukovského hřbetu". Hlavní ložiskový obzor představují bazální klastika spodního badenu. Litologicky představuje badenský kolektor převážně jemně až hrubě zrnité pískovce a slepence. Ložisko se nachází ve střední hloubce 445 m a je charakterizováno expanzním režimem.

Zásobník je vybudován na vytěženém ložisku přírodního zemního plynu Žukov, nacházející se v blízkosti města Český Těšín. Rozkládá se na ploše cca 10 km<sup>2</sup>. Centrální areál je umístěn na okraji samotné obce. Zásobník má v současnosti kapacitu 240 milionů m<sup>3</sup> provozních zásob zemního plynu s denním výkonem až 4,3 milionu m<sup>3</sup> plynu, při ložiskových tlacích 3,9 až 2,0 MPa. Pro zajímavost lze uvést, že hrubá celoroční spotřeba plynu severní Moravy činí 1,7 miliardy m<sup>3</sup>.

Plynové naleziště Žukov, které spadá pod PZP Třanovice, leží na styku Českého masivu a Karpat. K Českému masivu patří karbonské sedimenty, které tvoří konsolidované podloží a jehož morfologická stavba vytvořila podmínky pro vznik plynových ložisek. Tato ložiska jsou vázána na klastické sedimenty spodního badenu, které vyplňují erozivní výmoly v karbonském podloží. Ložiska jsou vrstevního typu, ohraničená litologicky, jejich uzávěr tvoří hranice voda – plyn. Nepropustný nadložní kryt představují pelitické spodnobadenské sedimenty, překryté nepropustnými příkrovy karpatské soustavy. Naleziště je tvořeno celkem pěti ložiskovými celky, označovanými jako Západní pole, Nové pole, Staré pole, Čočka Žu-106 (Č), Čočka Žu-108. Čočky jsou izolované objekty malého rozsahu a významu. Celky Západní pole, Nové pole, Staré pole, jsou ve vyšších strukturních partiích, kde se nachází plynová akumulace, odděleny litologicky, v nižších strukturních pozicích však tyto objekty vytvářejí společné těleso a tato ložiska mají společné vodní zápolí. Kolektorskou horninou, uloženou v hloubce 350 – 450 m, jsou spodnobadenské pískovce až slepence o proměnlivé mocnosti, která narůstá od vrcholu struktury k okraji ložisek, a to od 5 m do 80 m s průměrnou mocností 25 – 30 m. Plynové naleziště Žukov bylo v primární těžbě od roku 1949 do roku 1980 a bylo z něj vytěženo více než 1 000 mil. m<sup>3</sup> plynu. Počáteční ložiskový tlak 3,9 MPa poklesl během primární těžby na hodnotu cca 0,6 MPa. Pro výstavbu PZP byly využity objekty Západní pole, Nové pole a Čočka Žu-106, na nichž probíhalo pokusné uskladňování plynu již v letech 1982 – 1996 (těžební organizací OKD,DPB Paskov a.s.), avšak pouze v malém tlakovém rozsahu 0,8 – 1,2 MPa.

## 2.2 Průběh výstavby PZP Třanovice

Výstavbě PZP předcházelo od roku 1982 do roku 1997 postupné přeskládňování plynu. V letech 1991 - 1992 se uskutečnilo odvrtní dvou nových vrtů (1 na NP a 1 na ZAP) a byla provedena oprava dvou starých sond (1 na NP a 1 na ZAP). Na základě výsledků získaných při těchto pracích bylo rozhodnuto o zahájení výstavby PZP. Výstavba byla zahájena v zimě 1994 rekonstrukcí 4 sond na Novém a Západním poli. Na ni navazovala v letech 1995 - 1996 rekonstrukce zbývajících 7 starých sond v objektech NP, ZAP a Čočky. Novými vrty (celkem 17) prováděnými v letech 1997 - 1999 se počet těžebně - vtláčných sond v rámci PZP Třanovice zvýšil na celkových 28, z nich 11 sond je situováno v Novém poli, 14 sond v Západním poli a 3 sondy na Čočce. Pozorovacích sond je celkem 9, z toho 6 je na Starém poli a 3 na Západním poli ( pro celkový přehled je nutno uvést i 1 negativní vrt na Novém poli). Všechny těžební sondy s hloubkovým dosahem 398 - 501 m jsou vystrojeny způsobem "open hole" a v současné době je většina z nich vybavena standardní těžební technologií známou z ostatních PZP innogy Gas Storage. Souběžně s vrtáním nových vrtů bylo zahájeno pokládání plynovodních a elektro přípojek od sond k areálu PZP. Následně byla zahájena realizace technologie sond s rádiovým přenosem dat, nových příjezdových komunikací a rekonstrukce stávajících příjezdních komunikací k sondám. Výstavba stavebních objektů a provozních souborů vlastního areálu zásobníku byla zahájena v červenci roku 1999. Stavební objekty a provozní soubory PZP Třanovice jsou situovány na ploše 2ha. Součástí areálu jsou i volné plochy, s nimiž se počítalo pro případnou výstavbu kompresní stanice.



*Obr. 6 - PZP Třanovice - výstavba roku 1999*

Zásobník je plně provozován od roku 2000 celkem 28 těžebně--vtlačnými sondami, z nichž je 12 původních a 16 nově odvrtaných. Původní sondy byly vystrojeny těžební kolonou o průměru 6 5/8“ s otevřením horizontu střílenou perforací. Tyto sondy byly zrekonstruovány odfrézováním pažnice, rozšířením otevřeného obzoru na Ø 280 mm a instalací protipískového filtru. Nové sondy jsou vystrojeny těžební kolonou 7“, v obzoru je vrt rozšířen na průměr 280 mm a instalován protipískový filtr. Výkony sond závisí na mocnosti kolektoru a propustnosti vrstvy a pohybují se od 50 – 300 tis. m<sup>3</sup>/den plynu.



*Obr. 7 - Bezpečnostní ventil sondy PZP Třanovice*

Plyn je při vtlačení do zásobníku odebírán z plynovodu DN 500 PN 63 Příbor- Žukov. Po vstupu do závodu prochází plyn filtrací. Poté je plyn rozdělen do rozvodných potrubních systémů k sondám jednotlivých uskladňovacích objektů. Při těžbě plynu ze zásobníku je plyn ze sond přiveden potrubními rozvody do závodu, kde dojde k jeho



filtraci a následnému sušení. Po sušení je plyn veden do předávací stanice a následně do distribuční sítě Severomoravské plynárenské a.s. – plynovodu DN 500 PN 40, směr Mistřovice. Zařízení filtrace plynu slouží k odstranění kapalných a pevných nečistot z plynu. Filtrace plynu je prováděna na čtyřech filtrech vybavených automatickým odpouštěním zachycených kapalin, které jsou svedeny do sběrné nádrže ložiskové vody umístěné v objektu skladovacího hospodářství. Zapojování jednotlivých filtrů je odvislé od provozních režimů zásobníku - režimu vtláčení, těžby, popř. předávání plynu z plynovodu TG do distribuční sítě a.s. Severomoravská plynárenská. K sušení plynu, které probíhá při těžbě budou využity dvě paralelní sušicí linky sestávající každá z absorpční sušicí kolony s absorbentem tvořeným triethylenglykolem (TEG).

Pro vtláčení plynu je využíván vvtl. plynovod DN 500, PN 6,4 Hrušky-Příbor-Třanovice. Vtláčení probíhá tlakem 4,5-6,1 MPa. Výstup zemního plynu těženého ze zásobníku jde přes předávací a regulační stanici do plynovodu distribuční společnosti Severomoravská plynárenská,a.s. DN 500, PN 40. Předpokládaný max. provozní výkon stanice je 190 tisíc m<sup>3</sup> plynu v hodině, při výstupním tlaku 1,1 až 2,3 MPa. Stanice je vybavena chromatografem Daniel pro kontinuální měření kvality dodávaného plynu



*Obr. 8 - Plynovod DN 500 v areálu PZP Třanovice*

## 2.3 Zařízení pro dopravu plynu v PZP Třanovice

### 2.3.1 Plynové filtry

Zásobník plynu v Třanovicích je vybaven čtveřicí plynových filtrů s výkonem jednoho filtru 200 tisíc m<sup>3</sup>/hod při tlaku 5,2 MPa. Plynové filtry zachycují mechanické nečistoty větší než 6 mikronů. Současně s nečistotami je zachycována i případná vlhkost ve spodní části aparátu, odkud se dle potřeby vypouštěcím systémem odstraní. Jednotlivé filtry jsou v průběhu etapy vtláčení či těžby zařazovány do provozu v závislosti na provozní potřebě. Systém filtračního bloku počítá s provozní rezervou, kdy může být provozovaný filtr kapacitně posílen dalším filtrem, nebo v případě poruchy nahrazen.



*Obr. 9 - Čtyři filtry zemního plynu  
PZP Třanovice*

### 2.3.2 Sušení plynu

Sušení plynu patří k důležitým procesům při těžbě plynu ze sond. V procesu sušení dochází k pohlcování vlhkosti obsažené ve vytěženém zemním plynu absorbentem, který je dále regenerován pro další použití v regenerátorech. Sušení probíhá ve dvou sušících linkách s maximálním výkonem 199 343 tisíc m<sup>3</sup> plynu v hodině při tlaku 3,1 MPa. Vlhký plyn zbavený mechanických nečistot je plynovodem dopravován k absorpční koloně, kde je v ohřívači předhříván na optimální teplotu potřebnou pro technologický proces. Vstupuje do kolony, kde se protiproudým stykem s absorbentem zbavuje své vlhkosti. Po projití chladičem a demistrem je vysušený plyn odváděn do centrální regulace. Vodou nasycený absorbent je ze spodní části kolony automaticky odpouštěn do odplyňovače, a dále náročným technologickým procesem regenerován k opětovnému použití.



*Obr. 10 - Sušiče plynu + plynové rozvody PZP Třanovice*



### 2.3.3 Sondy

Ústí sond je vybaveno produkčním křížem s uzavíracími armaturami. Zařízení technologie sondy umístěné ve zděném objektu obsahuje nástřík metanolu, měření průtoku, bezpečnostní a regulační armatury a zařízení dálkového přenosu dat do řídicího systému umožňující zcela automatické sledování a ovládání provozu z velínu centrálního areálu. Řídicí systém sleduje provozní hodnoty a stavy na jednotlivých sondách. Na základě takto získaných údajů a jejich vyhodnocení je následně řízen provoz jednotlivých sond. Jednotlivé sondy jsou oploceny a elektronicky střeženy.



*Obr. 11 - Sonda PZP Třanovice*



## Technologie zařízení sondy

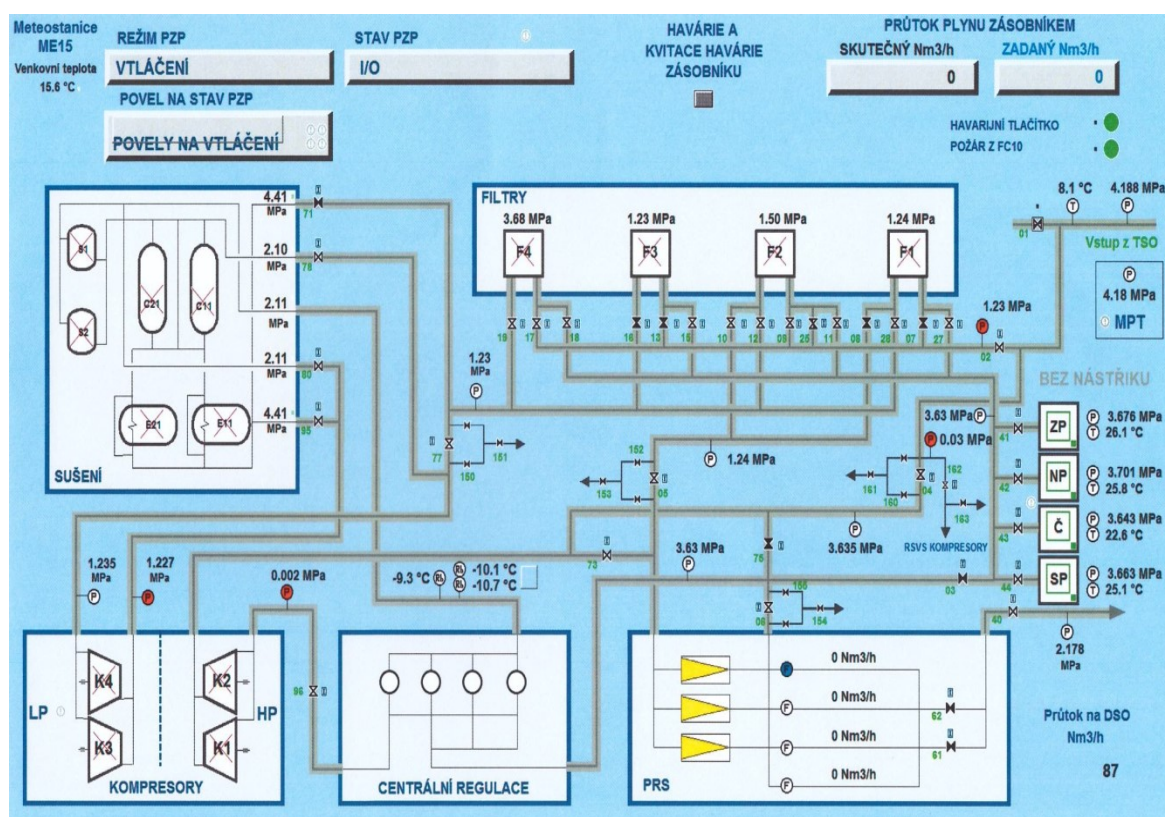
Uskladňovací obzor bazálních klastik byl sondami zastižen v hloubkovém rozsahu 398 - 501 m. Těžební sondy jsou vystrojeny způsobem “open hole”. Ústí každé sondy je vybaveno produkčním křížem dimenzovaným na tlak 14MPa. Těžební sonda je napojena na potrubí DN 100, které je vedeno přes podzemní odlučovač ložiskové kapaliny se snímačem hladiny do zděného objektu, ve kterém se nachází technologie zařízení sondy. Zde se napojuje na podzemní plynovodní přípojku vedoucí do areálu PZP. Technologie zařízení sondy slouží k měření a regulaci těženého, event. vtláčeného plynu, k nástřiku metanolu a k přenosu informací do centrálního řídicího systému PZP. Ve zděném objektu o rozměrech 6,6 x 3,6 m se na plynovodním potrubí DN100 nachází ve směru od produkčního kříže bezpečnostní uzavírací armatura MOKVELD s pneupohonem, snímače tlaku a teploty plynu s převodníky Fisher-Rosemount, průtokoměr Annubar od firmy Fisher-Rosemount, vstupy z metanolové jednotky a regulační ventil MOKVELD s elektricky ovládaným pohonem Auma. Spojení procesních stanic sond s řídicím systémem zásobníku je zajištěno radio-modemem.



*Obr. 12 - Interiér sondy PZP*

### 2.3.4 Řídicí systém

Řídicí systém je koncipován jako dvouúrovňový, otevřený SCADA systém. První úroveň reprezentují procesní stanice. Ty přísluší jednotlivým funkčním celkům a jsou umístěny v nejmenší možné vzdálenosti od řízené technologie. Druhou úroveň tvoří operátorská pracoviště. Ta zajišťují styk technologie s operátory a dalším obslužným personálem. Jsou tvořena počítači PC s operačním systémem Windows NT a za účelem vizualizace technologie jsou vybavena SCADA systémem IGSS dánské firmy Seven Technologies. Komunikace mezi nadřízenými a podřízenými procesními stanicemi v areálu využívá topologii propojovacích sítí typu rozvětvená hvězda. Přenosovým médiem je optický kabel. Na úrovni operátorských pracovišť je komunikace po Ethernetu .



Obr. 13 - Vizualizace pro řídicí velin Třanovice

## 2.4 Změna parametrů PZP Třanovice

Během provozu PZP Třanovice se začalo uvažovat o tom, že stávající kapacitu zásobníku, která činila 240 mil. m<sup>3</sup> je potřeba zvýšit. Důvodem byl, a stále je, nárůst odběratelů zemního plynu a zajištění soběstačnosti po delší dobu, pokud by v české republice nebyl po nějakou dobu zemní plyn dodáván. Kapacitu jde zvýšit dvěma způsoby. První způsob je takový, že zvýšíme objem podzemního zásobníku nebo využijeme zatím nevyužité podzemní prostory. To však sebou přináší řadu komplikací spojených s tím jak velká a vhodná by podzemní dutina byla. Druhým způsobem je to, že stávající podzemní zásobníky zvýší svůj provozní tlak. Samozřejmě pokud to dovolí stav podzemního zásobníku. V PZP Třanovice se k takovému kroku firma RWE Gas Storage rozhodla přistoupit. A to v roce 2011. Po větším průzkumu stávajících zásobníků v Třanovicích, pomocí seismického měření, bylo možné zjistit skutečný objem a stav podzemních dutin sloužících k uskladnění plynu. Na tomto základě byl určen maximální a provozní tlak, který by tyto dutiny snesly.

Vyšší tlak v zásobnících byl zajištěn právě zavedením turbokompresorů. Díky nim je možné dopravit plyn do PZP s vyšším tlakem a pokud je potřeba plyn přečerpát do jiných zásobníků nebo plynových žil, s turbokompresory to jde rychleji. Turbokompresory v PZP Třanovice jsou vyrobeny americkou firmou Solar Turbines, která je dceřinou firmou společnosti Caterpillar Inc.

*Tabulka 1 - Parametry PZP Třanovice*

Význam	Jednotky	Stav před změnou parametrů	Aktuální stav
Pracovní objem plynu	mil. m <sup>3</sup>	240	530
Základní náplň plynu	mil. m <sup>3</sup>	330	330
Těžební kapacita	mil. m <sup>3</sup> /den	4,1	8
Rozsah ložiskových Tlaků	MPa	1,55-3,90	2,00-3,90



### 3 Turbokompresory

V této kapitole jsem se zaměřil na Turbokompresory nacházející se v PZP Třanovice, které jsou hlavním předmětem této práce. V rámci technické diagnostiky využiji tribotechniku pro zjištění technického stavu stroje (turbokompresoru).

#### 3.1 Kompresorová sada Taurus

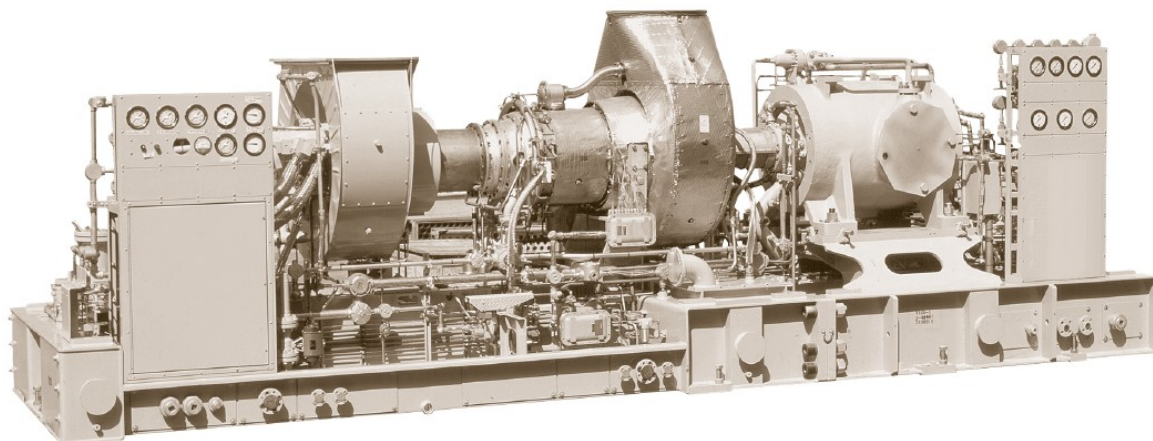
Slovo turbokompresor se skládá ze dvou částí. Jedná část je kompresor a druhou část tvoří plynová turbína, která kompresor pohání. Z tohoto vzniklý název turbokompresor.



*Obr. 14 - Turbokompresory umístěné  
v hale PZP Třanovice*

### 3.1.1 Popis funkce turbokompresoru

Plynová turbína nasává okolní vzduch a stlačí jej pomocí lopatek na vyšší tlak, při čemž dochází i ke zvyšování teploty. Následně je tento stlačený vzduch veden do spalovací části turbíny. Ve spalovací části se průběžně ke vzduchu přivádí palivo (většinou zemní plyn) a dochází tím ke spalování této směsi, roste teplota a vytváří se spaliny. Takto vzniklé spaliny proudí přes hnací lopatky turbíny, které předávají svou energii (především kinetickou) a roztáčí ji. Roztočená turbína svou mechanickou energií pohání právě kompresor, který přečerpává a zvyšuje tlak zemního plynu v podzemním zásobníku plynu. V PZP Třanovice se nachází čtyři turbokompresory. Jak už jsem dříve zmínil, všechny jsou od společnosti Solar Turbines a to konkrétně modely Taurus. Dva z nich, odstředivé nízkotlaké kompresory LP (low pressure) poháněné plynovou turbínou Taurus 70 S (SoLoNOx Emissions Control System), a dva odstředivé vysokotlaké kompresory HP (high pressure) poháněné plynovou turbínou Taurus 60 S. V PZP Třanovice byly uvedeny do provozu v roce 2012. Kompresory lze ovládat samostatně nebo sériově.

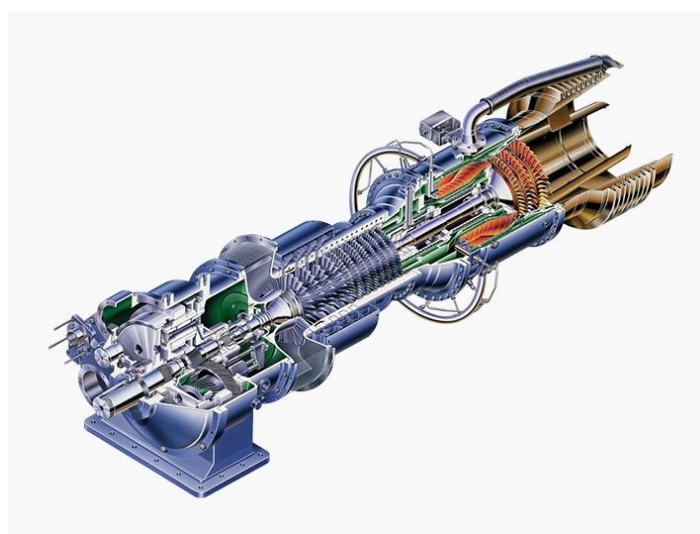


*Obr. 15 - Kompresorová sada Taurus 60 [6]*

Tabulka 2 - Parametry turbokompresorů Taurus 60/70

<b>Taurus 70</b>	<b>Jednotky</b>
Jmenovitý výkon plynové turbíny	5,08 MW
Max. průtok plynu	4,3 mil. m <sup>3</sup> /den
Min. vstupní tlak	6,9 MPa
Max. vypouštěcí tlak	2,7 Mpa
Obvodová Rychlost	5 000 ÷ 12 000 ot / min
<b>Taurus 60</b>	<b>Jednotky</b>
Jmenovitý výkon plynové turbíny	4,2 MW
Max. průtok plynu	3,6 mil. m <sup>3</sup> /den
Min. vstupní tlak	2,0 MPa
Max. vypouštěcí tlak	6,4 Mpa
Obvodová Rychlost	6 000 ÷ 14 300 ot / min

Turbínou poháněná kompresorová sada se skládá z axiální turbíny a hnaného kompresoru. Turbína a kompresor jsou vyrovnané na základovém rámu – svařované konstrukci s nosníkovými oddíly a křížovými díly tvořícími pevnou základnu. Výstupní hřídel turbíny je vyrovnán se vstupním hřídelem hnaného zařízení a hřídele jsou spojené drážkovaným propojovacím hnacím hřídelem. Mezi pomocné systémy patří spouštěcí systém, palivový systém, vzduchový systém, systém mazacího oleje, elektrický řídicí systém a těsnicí systém. [9]



Obr. 16 - Plynová turbína Taurus 60 v řezu [5]

### 3.2 Mazací systém turbokompresorů Taurus 60 S

Systém mazacího oleje dodává přefiltrovaný mazací olej v provozních mezích tlaku a teploty do ložisek turbíny a různých komponent soustrojí. Systém mazacího oleje je monitorován řídicím systémem soustrojí a zahrnuje nádrž na mazací olej, systém pro chlazení oleje, čerpadla, filtry, zařízení pro regulaci tlaku a ventily pro regulaci teploty. [9]

#### 3.2.1 Požadavky na mazací olej

Požadavky uvedené v *tabulce 3* na mazací olej nesmí obsahovat přídavné látky, které lze odbourat při teplotách pod 140 °C nebo oddělit vodou. Přídavné látky musí v oleji zůstat při všech teplotách nad teplotou tuhnutí až do 140 °C rovnoměrně rozložené. [9]

*Tabulka 3 - Obecné fyzikální a chemické požadavky na mazací olej*

<b>Norma ASTM</b>	<b>Vlastnosti oleje</b>	<b>Minimální požadavky na olej</b>
D130	koroze mědi při 100 °C, tři hodiny	třída 1b
D892	pěnové limity, max, v mililitrech sekvence 1 sekvence 2 sekvence 3	50/0 50/0 50/0
D943	odolnost proti oxidaci, min. počet hodina neutralizaci číslo 2,0	2000
D1401	emulsní test	40-40-0(30)
D4628	zinek hmotnostní %, max.	0,005
D1744	voda, hmotnost, ppm, max.	200 (0,2 %)
D1947	přípustné zatížení MPa, min	68,95
D4172	charakteristika prevence opotřebení, průměr opotřebovaného místa, max, v milimetrech (75 °C 1200, ot / min)	0,90
D2273	usazenina objemové % max.	0,005

V tomto zařízení se používá ropný mazací olej ISO VG 32. Ropný olej se skládá z rafinovaného parafinového základového oleje s vhodnými přídavnými látkami, díky nimž splňuje obecné fyzikální a chemické požadavky uvedené v *tabulce 3* a specifické fyzikální a chemické požadavky uvedené v *tabulce 4*. Olej ISO VG 32 se doporučuje pro použití v chladném až mírném podnebí.

*Tabulka 4 - Specifické fyzikální a chemické požadavky na ropný olej VG 32 (S150)*

<b>Norma ASTM</b>	<b>Vlastnosti oleje</b>	<b>Minimální požadavky na olej</b>
D445	viskozita při +40°C SSU (mm <sup>2</sup> /s) max.	35,2
D445	viskozita při +100°C SSU (mm <sup>2</sup> /s) min.	5,09
D92	teplota vzplanutí, COC, °C min.	199
D92	teplota hoření, COC, °C min.	227
D97	teplota tuhnutí, °C max.	-9,5
D664	neutralizační číslo, mg KOH/g max.	0,20
D1298	měrná hmotnost, 15/15°C	0,86-0,88
E659	teplota samovznícení °C min.	+310
D2270	viskozitní index, min	90

**Ropný olej ISO VG 32 (S150) má následující omezení provozních teplot:**

- Teplota tuhnutí musí být 6 °C pod dolní mezí teploty okolí.
- Meze provozní teploty oleje po 30 minutách provozu turbíny činí +43 °C až +74 °C.

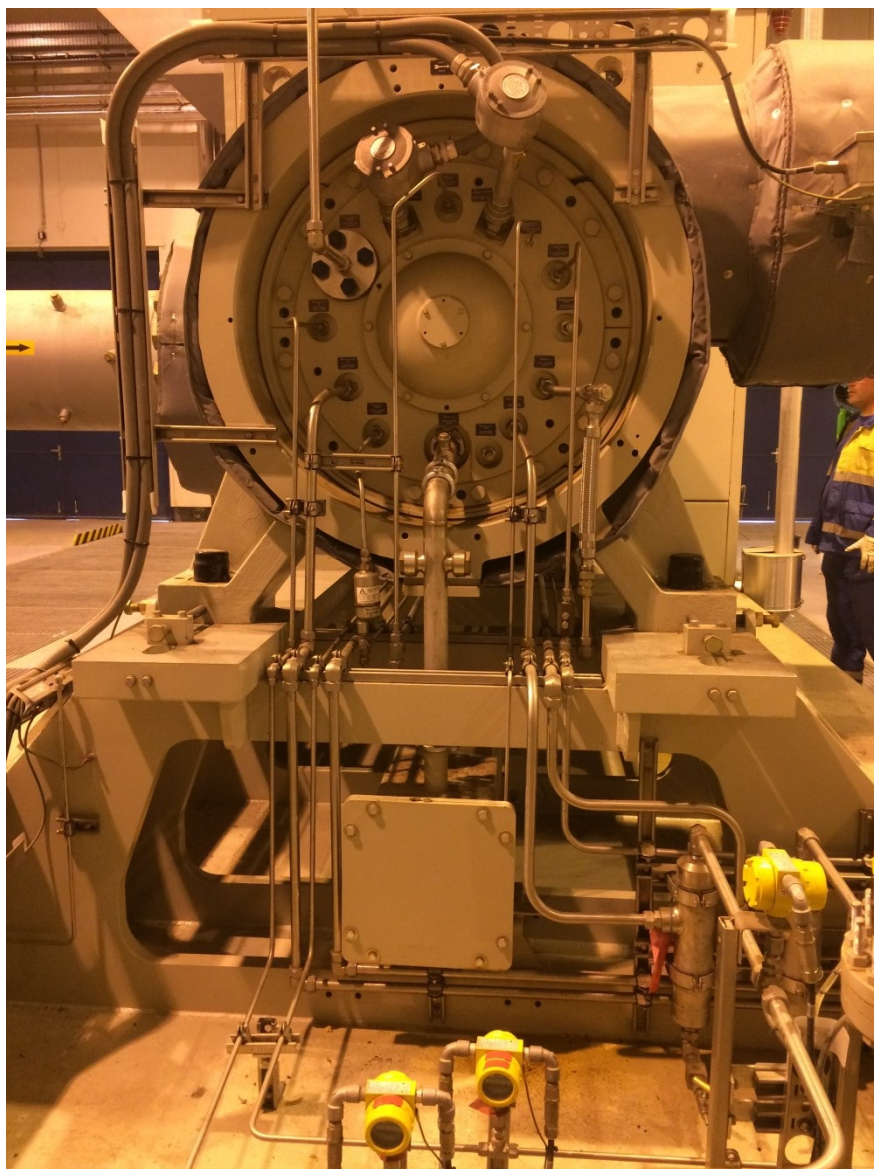
Tento Ropný olej je vhodný ke konzervaci turbíny a komponent na dobu až 90 dnů. Pokud by uložení, odstávka nebo přeprava trvala déle než 90 dnů je potřeba zvolit olej s jinými limity stárnutí. V PZP Třanovice jsou turbokompresory v provozu cca tři měsíce v roce. Proto je nutné tyto stroje nastartovat, nechat běžet, aby se mazací olej dostatečně homogenizoval. Díky tomu se zpomalí průběh stárnutí oleje. Tento proces provádět minimálně jednou za 90 dní. [9]



### 3.2.2 Systémy mazacího oleje

Systém mazacího oleje se skládá ze tří provázaných systémů. Nákres systému mazacího oleje najdete na *obr. 18*.

- a) Systém mazacího oleje pro předchozí/následné mazání
- b) Hlavní systém mazacího oleje
- c) Záložní systém následného mazání



*Obr. 17 - Detail rozvodu mazacích trubíc na posledním kluzném ložisku plynového kompresoru LP2 v PZP Třanovice*

### a) Systém mazacího oleje pro předchozí/následné mazání

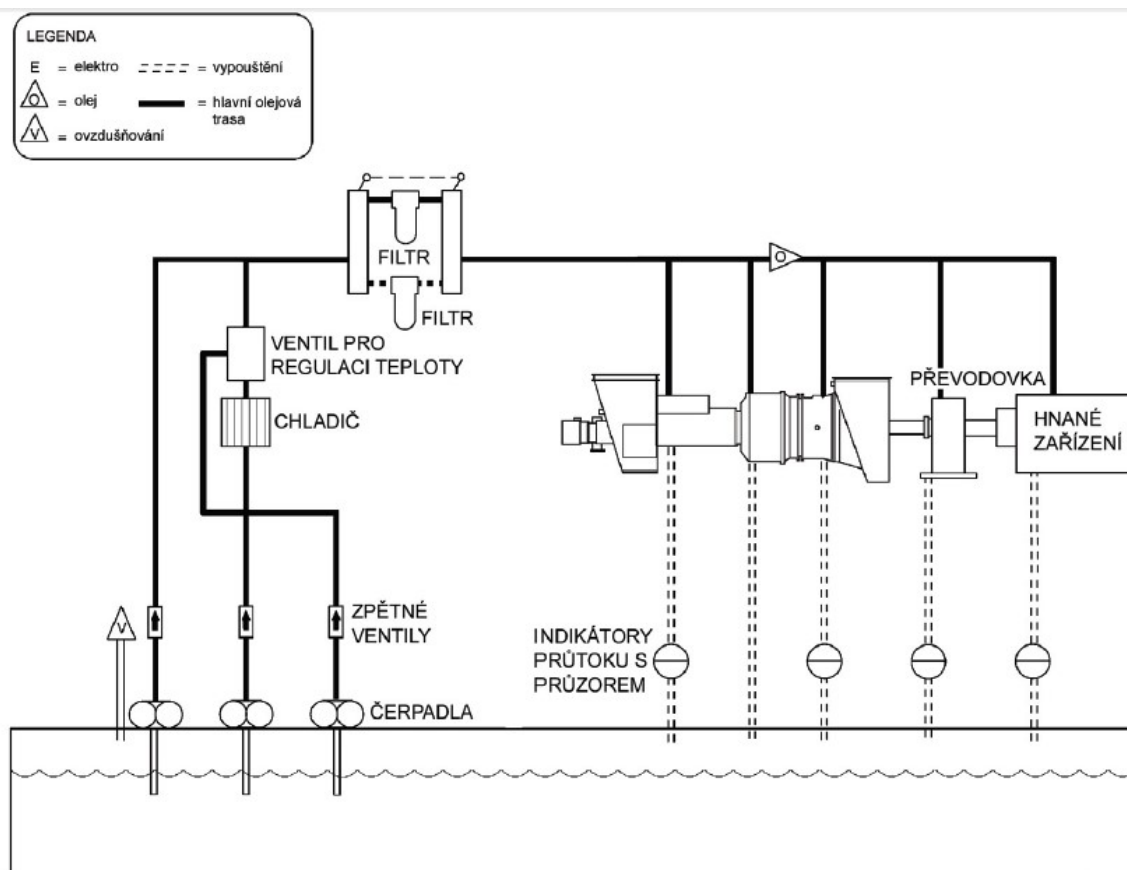
Systém mazacího oleje pro předchozí/následné mazání dodává mazací olej do ložisek turbíny a do hnaného zařízení (odstředivý kompresor) před spuštěním turbíny a po jejím odstavení. Systém mazacího oleje pro předchozí/následné mazání funguje nezávisle na hlavním čerpadle mazacího oleje. Systém mazacího oleje pro předchozí/následné mazání lze aktivovat pomocí řídicího systému tak, aby zajistil dočasný mazací olej pro případ selhání hlavního čerpadla mazacího oleje. [9]

### b) Hlavní systém mazacího oleje

Hlavní systém mazacího oleje dodává mazací olej do ložisek turbíny v době, kdy je turbína v provozu. Systém se skládá z nádržového čerpadla (resp. čerpadel), tlakových a teplotních regulačních ventilů, filtrů, systému pro chlazení mazacího oleje, přívodních rozdělovacích potrubí a zpětných vedení. [9]

### c) Záložní systém následného mazání

Záložní systém pro následné mazání dodává mazací olej do ložisek turbíny v případě, že systém předchozího/následného mazání selže. [9]



Obr. 18 – schéma mazacího systému Taurus 60

### 3.2.3 Nádrž mazacího oleje

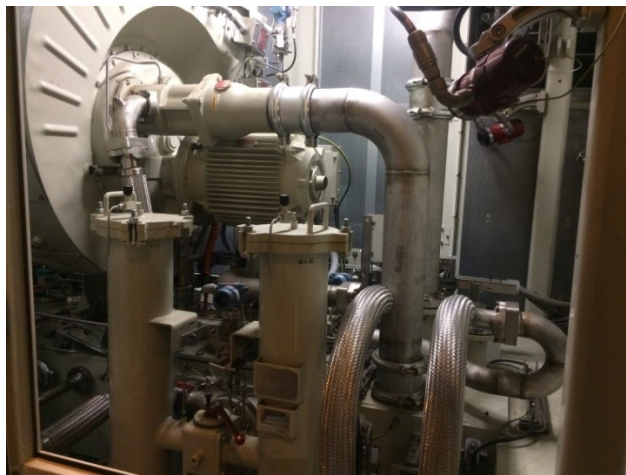
Nádrž mazacího oleje se nachází pod plynovou turbínou a přidavným zařízením. Je umístěná v podlaze kompresorové haly. Obal nádrže tvoří plechové pláty spojenými svárem. Nádrž je opatřena několika analogovými a digitálními senzory, které určují výšku hladiny a teplotu mazacího oleje pro systémy mazání. Objem mazacího oleje uloženého v nádrži je pro LP 13,6 m<sup>3</sup> a pro HP 14 m<sup>3</sup>.



*Obr. 19 - Analogový ukazatel hladiny oleje v nádrži*

### 3.2.4 Filtrace mazacího oleje

Do mazacího systému je umístěn filtr mazacího oleje, jak vidíme na *obr. 18*, je zapojen za zpětné ventily čerpadla, před ložiska plynové turbíny a kompresoru. Filtr mazacího oleje odstraňuje nečistoty ze systému mazacího oleje. Filtraci zajišťují dvě filtrační vložky.



*Obr. 20 - Dvojice stejných filtrů oleje umístěných v prostoru turbíny*

Filtrační vložka se mění po určitých intervalech. Důvodem, že jsou turbokompresory v provozu cca jen tři měsíce v roce, se filtrační vložky mění jednou za rok. Na každém, ze čtyř turbokompresoru je dvojice shodných filtračních vložek o zrnitosti 1 mikron. Vždy je ale v provozu pouze jedna. Druhá se aktivuje, pomocí přepojením trojcestného ventilu, pokud je první vložka znečištěná a je potřeba ji vyměnit za provozu turbíny.



*Obr. 21 - Filtrační vložka mazacího oleje*

### 3.3 Analýza mazacího oleje

Analýza mazacího oleje je užitečný nástroj pro sledování vývoje opotřebení, ke kterému v turbíně dochází. Umožňuje včasnou detekci problémů a zajišťuje kvalitu mazání olejem. V pravidelných intervalech se musí odebírat vzorky. Nejúčinnějším způsobem, jak zjistit stav mazacího oleje, je provedení atomové spektrometrie a zkoušky fyzikálních vlastností. Při atomové spektrometrii se měří množství opotřebovaných kovů a jiných nečistot. Při zkoušce fyzikálních vlastností se kontroluje kvalita mazacího oleje. Dále je třeba provádět zkoušky spočívající ve zpěňování oleje a optickém počítání částic. Ke zjištění kvality mazacího oleje nestačí jen úroveň koncentrace opotřebovaných kovů. Musí se posoudit celkový trend (zvyšování, snižování nebo stabilita) kovů. Další faktory jsou fyzikální vlastnosti oleje a externí zdroje znečištění. [9]

#### 3.3.1 Atomová spektrometrie

Atomová spektrometrie je analytická metoda, která zjišťuje kvalitativně i kvantitativně složení vzorku. V našem případě oleje. Zjišťuje to rozbořením atomového spektra. V případě PZP Třanovice se využívá pro zjištění přítomnosti prvku atomová emisní spektrometrie (ICP) s indukčním vázaným plazmatem (OES). Při této metodě jsou prvky obsažené v oleji měřeny spektrometrem. Tato metoda je schopna zjistit většinu prvku PSP. Prvky, které se měří u turbokompresorů jsou obsaženy v *tabulce 6*.



Obr. 22 - Spektrometr Agilent 5800 ICP-OES [7]



### 3.3.2 Opotřebované kovy

V průběhu delší doby kontakt kovu s kovem vede k povrchovému opotřebení a k uvolnění úlomků do oleje. Klíčovou součástí účinné analýzy oleje je sledování úrovně opotřebovaných kovů v průběhu doby. Složení a koncentrace úlomků opotřebovaných kovů závisí na materiálech zařízení a na objemu oleje. Vzhledem k velkému objemu oleje, který se v turbokompresorech používá, je poměr opotřebovaných úlomků vůči objemu oleje nízký. Při spouštění nového zařízení se vytváří určitá úroveň opotřebovaných úlomků tím, jak se vymezuje vůle pro rotaci. Opotřebení indikují následující prvky: železo, olovo, měď, chrom, hliník, nikl, stříbro, antimon a cín. Postupné zvyšování či náhlé zvýšení je při sledování koncentrací opotřebovaných kovů známkou nadměrného opotřebování. Zdroje opotřebovaných kovů můžeme vidět v následující tabulce 5.

*Tabulka 5 - Opotřebované kovy a možné zdroje [9]*

<b>Opotřebované kovy</b>	<b>Možné zdroje</b>
Železo	Ozubené převody a ložiska pomocného náhonu. Redukční převodovky generátorové sady. Převodovky zvyšující otáčky kompresorové sady.
Měď	Ložiska a těsnění turbíny, axiální ložiska, ložiskové skříně (bronz), ložiska pomocného náhonu, ložiska a těsnění plynového kompresoru, ložiska redukčních převodovek, příslušenství čerpadla a chladiče oleje.
Cín	Ložiska a těsnění turbíny, axiální ložiska, ložiska redukční převodovky, převodovky zvyšující a snižující otáčky, ložiska a těsnění plynového kompresoru.
Stříbro	Povlaky ložisek turbíny a povlaky těsnění
Antimon	Ložiska redukčních převodovek a Babbittův kov radiálních ložisek
Hliník	Přítomný v labyrintovém těsnění plynových kompresorů a v těsněních s ochranným plynem
Olovo	Ložiska a těsnění turbíny, axiální ložiska, ložiska redukční převodovky zvyšující a snižující otáčky, ložiska a těsnění plynového kompresoru

### 3.3.3 Nečistoty

Nečistoty souvisí s látkami vstupujícími do systému mazacího oleje z vnějšího zdroje. Nejobvyklejší pravděpodobnou příčinou zanesení nečistot je znečištění při odebírání vzorků nebo nesprávné postupy při doplňování oleje. Nejběžnější nečistotou je křemík v podobě oxidu křemičitého. Jedná se o prvek, který svědčí o přítomnosti špíny, písku nebo prachu v oleji. Mezi další zdroje křemíku patří těsnění, plastické mazivo a přídavné látka zabraňující pění a chladicí přídavné látky. Jakékoliv množství křemíku větší než 5 ppm se považuje za abnormální. Opotřebované kovy rovněž představují formu abrazivních nečistot. [10], [11], [12]

### 3.3.4 Optická zkouška na přítomnost částic

Optickou zkouškou na přítomnost částic se zjišťuje čistota oleje. Společnost Solar Turbines používá upravenou normu ISO 4406 z roku 1999 ke stanovení vztahu mezi počtem částic a čistotou. Tato norma přináší třídní kód pro uvádění počtu částic na mililitr oleje: větší nebo roven 2  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$ . Číslo každého kódu odpovídá určitému rozsahu koncentrace částic a lze ho najít v normě ISO 4406:1999. Společnost Solar Turbines uvádí kód normy čistoty 16/14/12. Při vyšetření vzorku oleje se však v praxi nepožívá upravená norma Společnosti Solar Turbines, ale původní norma, pro počet částic větší než 4  $\mu\text{m}$  6  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$  na 1 ml oleje. [13], [14]

### 3.3.5 Přídavné látky v oleji

Přídavné látky v oleji jsou chemické sloučeniny přidávané do oleje za účelem vytvoření nových vlastností tekutiny, vylepšení stávajících vlastností a snížení rychlosti, s níž dochází k nežádoucím změnám v oleji během jeho životnosti. Zinek, fosfor, vápník, baryum a hořčík jsou prvky, které výrobci mohou do různých maziv přiměšovat. Fosfor a zinek působí jako prostředky proti opotřebování tím, že pokrývají smáčené díly a snižují tření. Vápník, baryum a hořčík jsou disperzanty a detergenty, které protékají systémem, vážou na sebe částice z opotřebování a částice nečistot a nesou je do filtru, aby se odstranily z oleje. Sloučeniny draslíku se používají jako inhibitory koroze, ale lze je najít také jako minerální sůl v mořské vodě. Některé antikorozní přídavné látky mohou mít nepříznivý vliv na jiné vlastnosti oleje. Nicméně v případě těchto strojů je stárnutí oleje dost podstatné téma k řešení a jeho zpomalení vysokou prioritou. [15]

## **Zinek**

Technická specifikace společnosti Solar Turbines žádá méně než 50 ppm v novém oleji, tj. 50 ppm jako přídavná látka v oleji (nikoliv nečistota nebo usazenina). Oleje obsahující jako přídavnou látku zinek obvykle mají až 600 ppm zinku. Zinek způsobuje vznik kalu a galvanické napadení stříbrného obložení. Tyto oleje se nesmí používat.

## **Chladicí přídavné látky**

Sodík a bor se používají jako inhibitory koroze a antioxidanty v motorech s vratným pohybem pístu a obvykle se nevyskytují v plynových turbínách. Sodík se však do systému může dostat jako nečistota ze slané vody nebo mořského vzduchu.

### **3.3.6 Zkouška fyzikálních vlastností**

Zkouška fyzikálních vlastností se skládá z řady souvisejících zkoušek, jejichž cílem je určit klasifikaci, znečištění a degradaci maziva. V následujících odstavcích je popsáno, co se ve zkoušce fyzikálních vlastností měří: [18]

## **Zředění palivem**

Zředění palivem je míra množství nespáleného kapalného paliva přítomného v mazivu a určuje se destilační zkouškou neboli zkouškou stanovení bodu vzplanutí. Touto zkouškou se odhalí problémy jako je únik z palivového čerpadla do krytu pomocné převodovky.

## **Voda**

Přítomnost vody v systému mazacího oleje je abnormální. Zkouškou na přítomnost vody, provádí-li se ve spojení s jinými, souvisejícími zkouškami, se odhalí emulgace maziva z vnějšího zdroje znečištění nebo kondenzace. Je-li voda přítomna v koncentracích 2000 ppm a více, olej je již nepoužitelný – s výjimkou případů, kdy lze koncentraci snížit pod uvedený limit například odstředováním nebo jinými postupy. [9], [10]

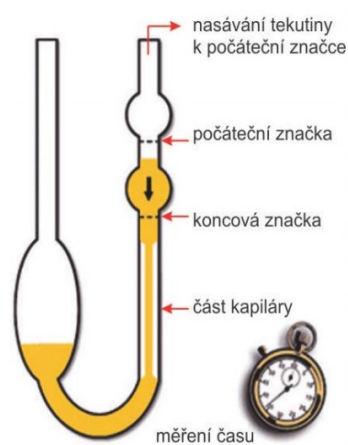




Obr. 23 Coulometr WID [4]

### Viskozita

Viskozita je měřítko průtoku maziva při určité teplotě vzhledem k času. Touto zkouškou se zjistí klasifikace maziva co do stupně, oxidace a znečištění. Požadavky na viskozitu u nového oleje jsou uvedeny v *tabulce 4*. Mazací olej se musí vyměnit, pokud viskozita ve srovnání s původní viskozitou vzroste nebo klesne o více než procentuální hodnoty uvedené v *tabulce 6*.



Obr. 24 - Viskozimetr [8]

### Neutralizační číslo

Neutralizační číslo je číslo vyjádřené v miligramech látky, které jsou potřebné k neutralizování deseti gramů maziva. Touto zkouškou se odhalí relativní změny v mazivu. Neutralizační číslo se udává jako číslo celkové kyselosti (total acid number, TAN). Vysoké číslo TAN obvykle znamená, že olej je přehřátý nebo zoxidovaný. Pokud zkouška TAN ukazuje značný nárůst kyselosti od poslední zkoušky, musí se provést zkouška RBOT (Rotary Bomb Oxidation Test). Číslo celkové zásaditosti (total base number, TBN) je míra rezervní alkality zbývající v mazivu a obvykle se používá u motorových a hydraulických olejů, nikoliv u turbínových olejů. [19]



*Obr. 25 - Titrátor Mettler Toledo DL 50*

### 3.3.7 Zkouška zpěňováním

Zpěňování je vznik vrstvy bublinek na povrchu oleje. Zpěňování se stává problémem v okamžiku, kdy dokáže bránit normálnímu odtoku oleje zpět do nádrže mazacího oleje. Zpěňování oleje lze redukovat přidáváním sloučenin zabráňujících pění. Měly by se však nejdříve prozkoumat a odstranit všechny možné mechanické příčiny. Nevhodné přidávání látky zabráňující pění může způsobit zachycení vzduchu v oleji. Zkouška slouží k měření tendence ke zpěňování. [9], [19]

### **Zachycení vzduchu**

Zachycení vzduchu (provzdušnění) spočívá v přítomnosti malých bublinek zachycených pod povrchem oleje. Vzduch zachycený v oleji snižuje krycí sílu oleje, protože způsobuje problémy s fyzickým kontaktem mezi hřídeli a ložisky a se záběrem ozubených kol převodovky. Vzduch zachycený v mazacím oleji může způsobovat také vibrace hadic nebo kavitaci čerpadla. Hlavní příčinou zachycení vzduchu je nevhodné používání látky zabraňující pění.

### **3.3.8 Postupy pro odebírání vzorků**

Vzorek se odebírá do čisté vzorkovací láhve z ventilu umístěného v protékajícím přívodním vedení ložisek nebo se odebírá z prostředka olejové nádrže poté, co byl olej důkladně promíchán. Poté se vzorek odešle do laboratoře (externí firma) k analýze. Provede se spektrometrická analýza, aby se změřilo množství různých opotřebovaných kovů v oleji, a provedou se zkoušky fyzikálních vlastností pro monitorování kvality oleje. Pro efektivní analýzu oleje je klíčové zjištění změn v průběhu času. Aby program fungoval správně, musí se vzorky odebírat v pravidelných, periodických intervalech. Je velmi důležité vzorek oleje označit správným štítkem. Nevhodně označený vzorek oleje je bezcenný, jelikož výsledky analýzy nelze přiřadit ke konkrétnímu soustrojí. Na štítku by měly být uvedeny následující údaje:

- Datum odběru vzorku
- Název společnosti
- Sériové číslo soustrojí od společnosti Solar Turbines
- Provozní hodiny turbíny od poslední generální opravy
- Hodiny od poslední výměny oleje
- Množství přidaného oleje od posledního odběru vzorků
- Používaný typ oleje
- Používaný typ paliva

V případě generátorových sad se vzorky musí odebírat, když je turbína v provozu a poté co olej dosáhl normální provozní teploty. Zajistí se tak, že koncentrace částic dosáhne rovnoměrného rozložení v celém objemu oleje tj. homogenizace. Je také výhodné, aby turbína byla v danou chvíli pod zátěží. Zajistí se tak nejvyšší rovnovážná úroveň koncentrace opotřebovaných kovů. V případě kompresorových sad a sad mechanických pohonů se vzorky smí odebírat pouze po odstavení turbíny. Před odstavením musí turbína dosáhnout normální provozní teploty, pokud možno pod zátěží. [9]

### **Způsob provádění zkoušek;**

Rozdíly v postupech při odebírání vzorků a měření, jak je provádějí různé laboratoře, mohou vést k různým rozdílům. Pokud mají být přesvědčivě sledovány trendy, je nutné používat konzistentní způsob odebírání vzorků a využívat služeb spolehlivé laboratoře.

### **Kritéria pro výměnu oleje**

Technická specifikace společnosti Solar Turbines stanovuje požadavky na nové oleje a uvádí specifická kritéria pro výměnu použitého oleje. Tato kritéria vyžadující údržbu nebo výměnu oleje. Jsou uvedena v *tabulce 6*. Kdykoliv se provádí atomová spektrometrie, vzorek se musí testovat také na barvu, zápach, viskozitu, obsah vody a znečištění částicemi.

*Tabulka 6 - Limity pro používání mazacího oleje [9]*

<b>Vlastnost</b>	<b>Limity (ve srovnání s novým olejem)</b>
Voda	maximálně 2000 ppm
Viskozita	+20 % nebo -10 %
Číslo celkové kyselosti (TAN)	Zvýšení o 0,4 mgKOH/g (u všech typů oleje) nebo max. 0,8 mg KOH/g u syntetizovaných uhlovodíkových olejů (třídy I) max. 0,6 mgKOH/g u ropných olejů (třídy II) max. 2,0 mgKOH/g u syntetických esterových olejů (třídy III) max 0,2 mgKOH/g u fosfátových esterových olejů (třídy IV)
Test RBOT	25% původní hodnoty nového oleje
Charakteristika zpěňování	Sekvence I – 300/10 sekvence – 300/10

### 3.4 Využití tribodiagnostiky ke zjištění technického stavu turbokompresorů

V PZP Třanovice firmy Innogy Gas Storage jsem provedl v roce 2019 jeden odběr vzorků mazacího oleje ze čtyř kompresoru (HP1, HP2, LP1, LP2). Viz kapitola 3.1.1. Vlastní měření a rozbor oleje byly provedeny v tribodiagnostické laboratoři VŠB-TUO. Historii protokolů o měření externí firmou za poslední čtyři roky mi PZP Třanovice umožnila k nahlédnutí a vyhodnocení.

#### Provedené zkoušky a měření odebraného turbínového oleje VG 32:

Viskozita

Obsah vody

Číslo celkové kyselosti

Kód čistoty

#### 3.4.1 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar HP 1

Tabulka 7 - Výsledky vlastního měření turbokompresoru HP1

FIRMA			Vzorek		
Název	Innogy Gas Storage s.r.o		Typ oleje	turbínový	
Provozovna	Třanovice		Název	SHELL Turbo CC32	
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace ISO	VG 32	
Název stroje	HP 1 - Turbinový kompresor		Datum odběru	16.6.2019	
Objem provoz. náplně	14 m <sup>3</sup>		Odebral	P. Humpolec	
Datum dodání	9.7.2019				
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadovaná hodnota		Stanovená hodnota
			min.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	ČSN EN ISO 3104	28,8	35,2	32,83
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,25	0,129
Obsah vody	%	ČSN EN ISO 12937		0,02	0,0045
Kód čistoty	třída	ČSN EN ISO 2592	18/16/13		17/17/15
Distribuce částic					
>4μm	částic/1ml	ČSN ISO 4406/99	1300-2500		1231
>6μm			320-640		801
>14μm			40-80		227

Výsledky měření HP1 ukázaly vyhovující hodnoty v kinematické viskozitě a čísle kyselosti. Velmi dobře je na tom turbínový olej s obsahem vody, která obsahuje jen 45 ppm což je skoro nepatrné množství vody. Voda se do oleje v podstatě nemá jak dostat. Celý turbokompresor je umístěn v hale při stabilní teplotě. Díky tomu nedochází ke kondenzaci vody na víku a stěnách nádrže pro mazací olej. Obsah mechanických nečistot překročil lehce mezní hodnotu. Pravděpodobně se jedná o drobné otěrové kovy kluzných ložisek celého soustrojí. Analyzovaný vzorek turbínového oleje nedoporučuji provozovat dále. Tento turbínový olej doporučuji přefiltrovat a následně i vyměnit filtry. Mé informace o výsledcích zkoušky jsem předal firmě innogy Gas Storage, která mazací olej v turbokompresoru HP 1 nechala přefiltrovat.

*Tabulka 8 - Rozbor oleje z turbokompresorů HP 1 po filtraci*

FIRMA			Vzorek		
Název	Innogy Gas Storage s.r.o		Typ oleje	turbinový	
Provozovna	Třanovice		Název	SHELL Turbo CC32	
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace ISO	VG 32	
Název stroje	HP 1 - Turbinový kompresor		Datum odběru	14.12.2019	
Objem provoz. náplně	14 m <sup>3</sup>		Odebral	pracovník údržby	
Datum dodání	15.1.2020				
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadovaná hodnota		Stanovená hodnota
			min.	max.	
Kód čistoty	třída	ČSN EN ISO 2592	18/16/13		13/11/8
Distribuce částic					
>4μm	částic/1ml	ČSN ISO 4406/99	1300-2500		131
>6μm			320-640		64
>14μm			40-80		7

Tabulka 8 označuje přefiltrovaný mazací olej turbokompresoru HP 1. Olej po filtraci byl znovu napuštěn do olejové nádrže a z ní odebrán vzorek do vzorkovnice. Následně jsem provedl zkoušku pouze na kód čistoty, který jako jediný nevyhověl (překročil dovolený maximální počet částic). Zkouška ukázala, že požadovaný vzorek nyní vyhovuje potřebné čistotě a je možné olej dále používat.

Firma innogy Gas Storage s.r.o., ve které jsem prováděl vyšetření mazacího oleje z turbokompresoru, mi poskytla protokoly měření (externí diagnostickou firmou) za poslední tři/čtyři roky, díky nimž jsem byl schopen zhodnotit technický stav celého soustrojí a zjistit zda se problém s čistotou oleje neprojevil již v minulých letech.



Tabulka 9 - Protokol Měření HPI

FIRMA			VZOREK						
Název	Innogy Gas Storage s.r.o.		Pořadové číslo	01					
Sídlo	PZP Třanovice		Lab. číslo	137					
Kontakt			Typ oleje	turbínový					
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Název	SHELL Turbo CC 32					
Název stroje	Turbínový kompresor		Specifikace ISO	VG 32					
	SOLAR HP 1		Specifikace DIN						
Strojní uzel			Datum odběru	27.8.2019 6.3.2019					
Objem provozní náplně			Odebral	zákazník, po filtraci					
Datum poslední výměny oleje			Dodal						
Doplněno od poslední výměny			Datum dodání	28.2.2019					
VÝSLEDKY ZKOUŠEK									
Datum dodání				28.2.2019	4.2.2019	8.2.2018	31.5.2017		
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota		Stanovená hodnota				
			min.	max.					
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	28,8	35,2	-	34,0	33,7	33,3	
Číslo kyselosti	mgKOH/g	metoda P 25/6.4		0,25	-	0,15	0,12	0,14	
Obsah vody	%	metoda FT-IR		0,02	-	0	0	0	
Bod vzplanutí - COC	°C	ČSN EN ISO 2592	218		-	218	220	219	
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)	ΔE	metoda P 25/6.14		30	-	6,1	2,3	-	
Deemulgační charakteristika	[ml(min.)]	ČSN ISO 6614	40-40-0 (60)		-	40-40-0(30)	30-38-12(60)	35-39-6(60)	
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99	18/16/13		14/13/9	19/17/13	17/15/11	18/16/12	
Distribuce částic									
> 4 μm(c)			1 300 - 2 500		146	3 892	808	1 533	
> 6 μm(c)	částic/1ml	ČSN ISO 4406/99	320 - 640		66	1 137	219	461	
> 14 μm(c)			40 - 80		5	57	18	23	
ZHODNOCENÍ									
Stanovené hodnoty chemicko-fyzikálních parametrů			nepožadováno						
Čistota			vyhovující						
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)			nepožadováno						
						normální stav ΔE <15	zhoršený stav ΔE= 15-30	abnormální stav AE = 30-40	kritický stav ΔE >40
DOPORUČENÍ									
Analýzovaný vzorek turbínového oleje vyhovuje v požadované čistotě. Doporučujeme další provoz olejové náplně.									

Vzorky oleje z tabulky 9 v roce 2017 a 2018 nevyhověly v deemulgační charakteristice. Za celkový stav a údržbu turbokompresoru v PZP Třanovice je odpovědný výrobce. Při konzultaci s pracovníky PZP Třanovice mi bylo sděleno, že výrobce turbokompresorů, tyto hodnoty překračující mez, nepovažuje za hrozbu ani ohrožení a také uvedl, že nejsou nějak zásadní pro další použití mazacího oleje. Osobně si myslím, že se v oleji nevyskytuje téměř žádná voda a proto překročení deemulgační charakteristiky pod mezní stav v tomto případě nehraje velkou roli. V průběhu dalších let se tento problém zatím nevyskytl. Vždy když dojde při zkoušce vzorku oleje k překročení horní nebo spodní hranice, PZP Třanovice nechá olej přefiltrovat a znovu zkontrolovat jen na danou metodu, ve které nevyhověl. Z tabulky 10 můžeme dále vidět zvýšený počet mechanických nečistot oleje v únoru 2019. Většinou jde o otěrové kovy kluzných ložisek a převodových soukolí viz *tabulka 5*. Olej se nechal přefiltrovat. Doporučuji dále sledovat vývoj a provést prvkovou analýzu aby se dále zjistilo, ze které části soustrojí kovové částice pocházejí. Dalším krok by vedl k použití vibrodiagnostiky.

### 3.4.2 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar HP 2

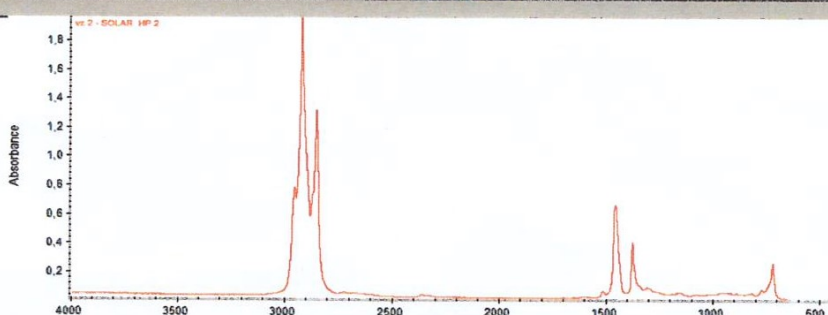
Tabulka 10 - Výsledky vlastního měření turbokompresoru HP2

FIRMA		Vzorek			
Název	Innogy Gas Storage s.r.o	Typ oleje	turbinový		
Provozovna	Třanovice	Název	SHELL Turbo CC32		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ		Specifikace ISO	VG 32		
Název stroje	HP 2 - Turbinový kompresor	Datum odběru	16.6.2019		
Objem provoz. náplně	14 m <sup>3</sup>	Odebral	P. Humpolec		
Datum dodání	9.7.2019				
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadovaná hodnota	Stanovená hodnota	
			min.		max.
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	ČSN EN ISO 3104	28,8	35,2	32,8
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,25	0,126
Obsah vody	%	ČSN EN ISO 12937		0,02	0,0033
Kód čistoty	třída	ČSN EN ISO 2592	18/16/13		17/16/14
Distribuce částic					
>4μm	částic/1ml	ČSN ISO 4406/99	1300-2500		1231
>6μm			320-640		478
>14μm			40-80		143

Výsledky měření ukázaly, že turbokompresor HP2 opět vyhovuje v kinematické viskozitě, číslu kyselost a v obsahu vody. Lehce nad, je překročen počet mechanických nečistot v oleji. Jeho počet není nějak výrazně vyšší. Doporučuji provést další odběr oleje po dvou měsících provozu a zkontrolovat znovu kód čistoty.



Tabulka 11 - Protokol Měření HP2

FIRMA				VZOREK				
Název	Innogy Gas Storage s.r.o.			Pořadové číslo	02			
Sídlo	PZP Třanovice			Lab. číslo	12			
Kontakt				Typ oleje	turbínový			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ				Název	SHELL Turbo CC 32			
Název stroje	Turbínový kompresor			Specifikace ISO	VG 32			
	SOLAR HP 2			Specifikace DIN				
Strojní uzel				Datum odběru	4.2.2019			
Objem provozní náplně				Odebral	zákazník			
Datum poslední výměny oleje				Dodal				
Doplněno od poslední výměny				Datum dodání	4.2.2019			
VÝSLEDKY ZKOUŠEK								
Datum dodání					4.2.2019	8.2.2018	26.6.2017	31.5.2017
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota		Stanovená hodnota			
			min.	max.				
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	28,8	35,2	35,2	33,7	-	32,5
Číslo kyselosti	mgKOH/g	metoda P 25/6.4		0,25	0,17	0,15	-	0,15
Obsah vody	%	metoda FT-IR		0,02	0	0	-	0
Bod vzplanutí-COC	°C	ČSN EN ISO 2592		218	216	220	-	224
Deemulgační charakteristika	(ml(min.))	ČSN ISO 6614		40-40-0(60)	40-40-0(20)	35-35-10(60)	-	40-40-0(15)
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)	ΔE	metoda P 25/6.14		30	6,6	1,6	-	-
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99		18/16/13	17/16/12	16/15/12	15/14/12	19/17/13
Distribuce částic								
> 4 μm(c)				1 300 - 2 500	889	614	239	3 992
> 6 μm(c)	částic/ml	ČSN ISO 4406/99		320 - 640	354	199	126	1 003
> 14 μm(c)				40 - 80	31	20	20	43
Analýza FT-IR								
Die FT-IR analýzy vzorek turbínového oleje není kontaminován a výrazně degradován.								
Prvková analýza ICP-OES								
Opotřebení								
obsah Fe				25	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5
obsah Cr				15	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5
obsah Sn				10	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5
obsah Al	mg/kg	ASTM D5185		15	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5
obsah Ni				25	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5
obsah Cu				25	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5
obsah Pb				15	1,7	1,8	-	1,1
Kontaminanty								
obsah Si	mg/kg	ASTM D5185		40	< 0,5	0,9	-	< 0,5
obsah Na				80	6,3	3,4	-	4,9
Aditiva								
obsah Ca				-	15,2	18,0	-	11,6
obsah Mg				-	0,6	< 0,5	-	< 0,5
obsah Ba	mg/kg	ASTM D5185		-	3,8	5,1	-	3,4
obsah Zn				-	31,5	30,5	-	15,6
obsah P				-	49,4	-	-	54,0
Pěnivost, Postup I až III								
24°C	ihned/po 10min				30/0	70/0	-	20/0
93,5°C	ihned/po 10min	ml	ASTM D 892		30/0	40/0	-	10/0
24°C po 93,5°C	ihned/po 10min				50/0	60/0	-	20/0
ZHODNOCENÍ								
Stanovené hodnoty chemicko-fyzikálních parametrů				vyhovující				
Čistota				vyhovující				
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)				vyhovující				
Analýza FT-IR				vyhovující				
Prvková analýza ICP-OES				vyhovující				
DOPORUČENÍ								
Analýzovaný vzorek turbínového oleje vyhovuje v požadovaných parametrech, doporučujeme další provoz olejové náplně.								

Turbokompresor HP 2, byl přefiltrován naposledy v roce 2017. Počet částic v oleji opět přesáhl maximální dovolenou mez. Postupem let můžeme vidět lineární nárůst mechanických nečistot v oleji. Takový vývoj může znamenat, pokud se jedna o kovové

částice (Podle prvkové analýzy ano), pravidelné a přirozené opotřebení vnitřních ložisek a ozubených soukolí převodovky kompresoru viz *tabulka 5*. Pokud by nárůst částic nebyl pravidelný ale v jednom odběru se výrazně lišil od ostatních, můžeme předpokládat nějakou počáteční vznikající poruchu na ložisku. Vlastnost oleje nevázat na sebe vodu v roce 2018 klesla pod mezní hodnotu. Nicméně další rok se hodnoty deemulgační charakteristiky návratily zpět. Po konzultaci s pracovníky PZP jsem se dozvěděl, že deemulgační charakteristika se vrátila do normálu bez zásahu servisu nebo jakékoliv osoby. Přimíchání aditiva také vyloučili.

### 3.4.3 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar LP 1

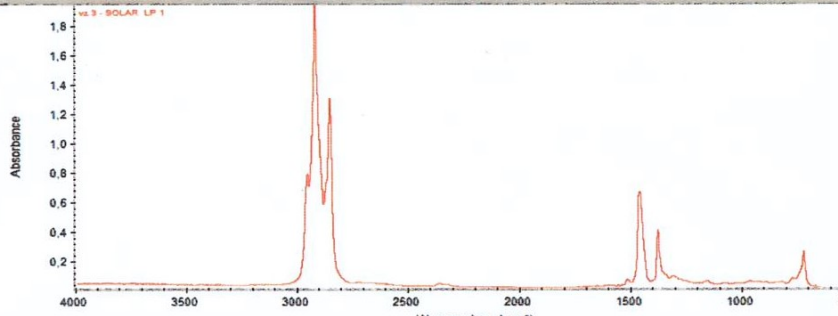
*Tabulka 12 - Výsledky vlastního měření turbokompresoru LP1*

FIRMA		Vzorek			
Název	Innogy Gas Storage s.r.o	Typ oleje	turbinový		
Provozovna	Třanovice	Název	SHELL Turbo CC32		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ		Specifikace ISO	VG 32		
Název stroje	LP 1 - Turbinový kompresor	Datum odběru	16.6.2019		
Objem provoz. náplně	13,6 m <sup>3</sup>	Odebral	P. Humpolec		
Datum dodání	9.7.2019				
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadovaná hodnota	Stanovená hodnota	
			min.		max.
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	ČSN EN ISO 3104	28,8	35,2	32,93
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,25	0,113
Obsah vody	%	ČSN EN ISO 12937		0,02	0,0041
Kód čistoty	třída	ČSN EN ISO 2592	18/16/13		15/14/12
Distribuce částic					
>4μm	částic/ml	ČSN ISO 4406/99	1300-2500		239
>6μm			320-640		143
>14μm			40-80		24

Výsledky měření kompresoru LP 1 neukázaly žádné alarmující hodnoty. Kinematická viskozita je na střední hodnotě, číslo kyselosti je jako u předchozích dvou turbokompresor na velmi nízkých číslech, obsah vody je také téměř shodný s HP1, 2 , olej neobsahuje téměř žádnou vodu. U kódu čistoty můžeme vidět počty částic blížíci se mezním hodnotám nicméně, olej je velmi čistý. Doporučuji další provoz tohoto oleje. Podle výsledků, tribodiagnostických metod, vypadá stav turbokompresoru LP 1 velmi dobře.



Tabulka 13 - Protokol Měření LP 1

FIRMA				VZOREK				
Název	Innogy Gas Storage s.r.o.			Pořadové číslo	03			
Sídlo	Třanovice			Lab.číslo	13			
Kontakt				Typ oleje	turbinový			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ				Název	SHELL Turbo CC 32			
Název stroje	Turbinový kompresor			Specifikace ISO	VG 32			
Evidenční číslo	SOLAR LP 1			Specifikace DIN				
Strojní uzel				Datum odběru	4.2.2019			
Objem provozní náplně				Odebral	zákazník			
Datum poslední výměny oleje				Dodal				
Doplněno od poslední výměny				Datum dodání	4.2.2019			
VÝSLEDKY ZKOUŠEK								
Datum dodání					4.2.2019	8.2.2018	31.5.2017	12.12.2016
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota min. max.	Stanovená hodnota				
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	28,8 35,2	35,1	34,2	33,2	32,9	
Číslo kyselosti	mgKOH/g	metoda P 25/6.4	0,25	0,18	0,06	0,12	0,09	
Obsah vody	%	metoda FT-IR	0,02	0	0	0	0,05	
Bod vzplanutí-COC	°C	ČSN EN ISO 2592	218	218	219	214	219	
Deemulgační charakteristika	[ml(min.)]	ČSN ISO 6614	40-40-0 (60)	40-40-0(20)	40-40-0(20)	40-40-0 (25)	-	
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)	ΔE	metoda P 25/6.14	30	7,9	2,7	-	-	
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99	18/16/13	17/14/9	17/16/11	18/16/13	15/12/11	
Distribuce částic								
> 4 μm(c)	částic/1ml	ČSN ISO 4406/99	1 300 - 2 500	651	1 278	1 616	189	
> 6 μm(c)			320 - 640	117	355	601	20	
> 14 μm(c)			40 - 80	9	14	67	13	
Analýza FT-IR								
Dle FT-IR analýzy vzorek turbinového oleje není kontaminován a výrazně degradován.								
Prvková analýza ICP-OES								
Opotřebení								
obsah Fe	mg/kg	ASTM D5185	25	0,6	0,8	0,6	0,5	
obsah Cr			15	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Sn			10	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,8	
obsah Al			15	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Ni			25	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Cu			25	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Pb	15	1,5	1,9	1,6	1,7			
Kontaminanty								
obsah Si	mg/kg	ASTM D5185	40	< 0,5	0,8	< 0,5	<0,5	
obsah Na			80	8,6	8,2	9,9	8,8	
Aditiva								
obsah Ca	mg/kg	ASTM D5185	-	8,8	14,7	11,8	11,3	
obsah Mg			-	1,4	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Ba			-	1,5	2,2	2,4	2,4	
obsah Zn			-	16,1	18,3	14,5	15,0	
obsah P			-	34,7	-	34,6	40,2	
Pěnivost, Postup I až III								
24°C	ihned/po 10min	ml	ASTM D 892	20/0	90/0	60/0	20/0	
93,5°C	ihned/po 10min			10/0	20/0	20/0	10/0	
24°C po 93,5°C	ihned/po 10min			30/0	45/0	60/0	20/0	
ZHODNOCENÍ								
Stanovené hodnoty chemicko-fyzikálních parametrů				vyhovující				
Čistota				vyhovující				
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)				vyhovující				
Analýza FT-IR				vyhovující				
Prvková analýza ICP-OES				vyhovující				
DOPORUČENÍ								
Analýzovaný vzorek turbinového oleje vyhovuje požadovaným parametrům. Doporučujeme další provoz olejové náplně.								

Před sebou máme tabulku protokolů měření LP 1 za poslední čtyři roky. Vývoj kinematické viskozity se mění lineárně a blíží se k mezní hodnotě. Číslo kyselosti se

výrazně nemění, spíše pulzuje. Velké změny nejsou vidět ani u kódu čistoty, kdy vývoj a postupné zvyšování počtu částic obsažených v oleji se zvyšuje lineárně a velmi pomalým tempem. Zajímavé je, že mezi rokem 2018 a 2019 je vidět skoková změna výsledů kódu čistoty a distribuce částic. Mazací olej však podle informací zaměstnanců filtrován nebyl. Tuto změnu parametrů k lepším hodnotám si vysvětlují náhlou výměnou filtrační vložky v mazacím systému nebo změnou kvality vložky danou jiným výrobcem. Hodnoty ostatních zkoušek se taky výrazně neliší a mohu konstatovat, že mazací olej v LP1 je ve výrazně lepším stavu než mazací oleje v HP1 a HP2. Důvodem tohoto rozdílu může být například to, že turbokompresory LP nejsou tak výrazně zatěžovány jako kompresory HP. Pracují s nižším pracovním tlakem zemního plynu. Stav LP 1 podle rozboru oleje nejvíce známky mezních hodnot. Olejovou náplň doporučuji dále používat.

### 3.4.4 Vyhodnocení odebraných vzorků oleje ze stroje Solar LP 2

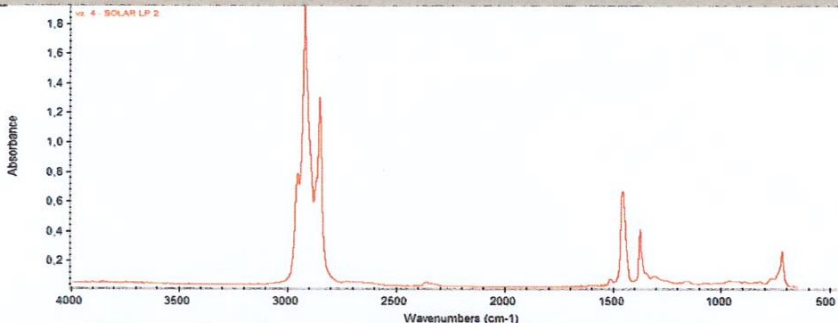
Tabulka 14 - Výsledky vlastního měření turbokompresoru LP 2

FIRMA			Vzorek		
Název	Innogy Gas Storage s.r.o		Typ oleje	turbinový	
Provozovna	Třanovice		Název	SHELL Turbo CC32	
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace ISO	VG 32	
Název stroje	LP 2 - Turbinový kompresor		Datum odběru	16.6.2019	
Objem provoz. náplně	13,6 m <sup>3</sup>		Odebral	P. Humpolec	
Datum dodání	9.7.2019				
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadovaná hodnota		Stanovená hodnota
			min.	max.	
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	ČSN EN ISO 3104	28,8	35,2	32,07
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		0,25	0,116
Obsah vody	%	ČSN EN ISO 12937		0,02	0,0035
Kód čistoty	třída	ČSN EN ISO 2592	18/16/13		16/15/13
Distribuce částic					
>4μm	částic/1ml	ČSN ISO 4406/99	1300-2500		335
>6μm			320-640		239
>14μm			40-80		48

Poslední rozbor turbokompresoru LP 2 vypadá podobně jako jeho dvojče LP 1. Kinematická viskozita a číslo kyselosti se téměř shoduje. Obsah vody je dokonce nižší než u LP2 a podobný jako u stroje HP 2. Kód čistoty se blíží abnormálnímu nicméně i ten vyhovuje danému kritériu. Dle těchto výsledků je olej v pořádku a doporučuji provoz olejové náplně nadále.



Tabulka 15 - Protokol Měření LP 2

FIRMA				VZOREK				
Název	Innogy Gas Storage s.r.o.			Pořadové číslo	04			
Sídlo	PZP Třanovice			Lab.číslo	14			
Kontakt				Typ oleje	turbinový			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ				Název	SHELL Turbo CC32			
Název stroje	Turbinový kompresor			Specifikace ISO	VG 32			
Evidenční číslo	SOLAR LP 2			Specifikace DIN				
Strojní uzel				Datum odběru	4.2.2019			
Objem provozní náplně				Odebral	zákazník			
Datum poslední výměny oleje				Dodal				
Doplněno od poslední výměny				Datum dodání	4.2.2019			
VÝSLEDKY ZKOUŠEK								
Datum dodání					4.2.2019	8.2.2018	31.5.2017	12.12.2016
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota		Stanovená hodnota			
			min.	max.				
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	28,8	35,2	35,2	34,2	33,3	33,2
Číslo kyselosti	mgKOH/g	metoda P 25/6.4		0,25	0,12	0,09	0,13	0,11
Obsah vody	%	metoda FT-IR		0,02	0	0	0	0,02
Bod vzplanutí-COC	°C	ČSN EN ISO 2592		218	220	218	212	218
Deemulgační charakteristika	[ml(min.)]	ČSN ISO 6614	40-40-0 (60)		40-40-0(20)	40-40-0(20)	40-40-0 (15)	-
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)	ΔE	metoda P 25/6.14	30		6,7	2,3	-	-
Kód čistoty	třída	ČSN ISO 4406/99	18/16/13		16/15/11	17/15/12	16/11/10	16/9/9
Distribuce částic								
> 4 μm(c)			1 300 - 2 500		576	1 146	574	499
> 6 μm(c)	částic/1ml	ČSN ISO 4406/99	320 - 640		175	303	10	3
> 14 μm(c)			40 - 80		17	22	7	3
Analýza FT-IR								
<div><div>Dle FT-IR analýzy vzorek turbinového oleje není kontaminován a výrazně degradován.</div><div></div></div>								
Prvková analýza ICP-OES								
Opotřebení								
obsah Fe	mg/kg	ASTM D5185	25	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Cr			15	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Sn			10	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	
obsah Al			15	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Ni			25	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Cu			25	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Pb			15	1,6	2,0	1,3	1,6	
Kontaminanty								
obsah Si	mg/kg	ASTM D5185	40	< 0,5	0,6	0,5	<0,5	
obsah Na			80	9,0	7,0	8,8	7,8	
Aditiva								
obsah Ca	mg/kg	ASTM D5185	-	12,3	14,7	15,3	15,9	
obsah Mg			-	0,9	< 0,5	< 0,5	<0,5	
obsah Ba			-	3,1	4,0	4,5	4,9	
obsah Zn			-	21,7	21,7	19,4	21,7	
obsah P			-	39,6	-	38,8	46,2	
Pěnivost, Postup I až III								
24°C	ihned/po 10min	ml	ASTM D 892	50/0	90/0	50/0	20/0	
93,5°C	ihned/po 10min			20/0	15/0	20/0	10/0	
24°C po 93,5°C	ihned/po 10min			50/0	50/0	50/0	20/0	
ZHODNOCENÍ								
Stanovené hodnoty chemicko-fyzikálních parametrů				vyhovující				
Čistota				vyhovující				
Potenciál k tvorbě úsad (MPC)				vyhovující				
Analýza FT-IR				vyhovující				
Prvková analýza ICP-OES				vyhovující				
DOPORUČENÍ								
Analýzovaný vzorek turbinového oleje vyhovuje požadovaným parametrům. Doporučujeme další provoz olejové náplně.								

Za poslední čtyři roky používání stejného mazacího oleje můžeme sledovat postupné lineární zvyšování viskozity, které je v roce 2019 na horní hranici. Můžeme předpokládat, že při dalším odběru cca za rok tuto hranici pravděpodobně překročí. Číslo kyselosti nemá vyvíjející se charakter, je velmi nízké a v normě, stejně jako bod vzplanutí. Olej neobsahuje téměř žádnou vodu. Ani v minulosti tomu nebylo jinak. Co stojí za zmínku je fakt, že počet částic v roce 2019 se opět snížil i přes to že olej nebyl přefiltrován. Nadále si to vysvětluji tím, že byla vyměněna filtrační vložka mazacího systému nebo použita jeho jiná zachytitelnost vyjádřena v mikronech. Dále to mohla být také chybná analýze nebo špatný postup při odebrání vzorku. Olej je podle ostatních analýz, jako je počet obsažených prvků nebo náchylnost na tvoření úsad, naprosto v pořádku a vhodný pro další používání.

### **3.3.5 Zhodnocení technického stavu olejové náplně a samotných turbokompresorů**

Technický stav turbokompresorů je podle výše přiložených protokolů odlišný. Vyšetřené vzorky olejů za poslední tři/čtyři roky měly pravidelný lineární vývoj a směřují k postupnému zhoršování technického stavu stroje. Pokud mluvíme o čistotě oleje a počtu částic v oleji, nejhůře ze všech je na tom turbokompresor HP 1 hned za ním je to HP 2. Tento stav si vysvětluji jejich vyšším pracovním zatížením (pracují s vyšším vstupním tlakem než LP ). Překvapující je obsah vody, který se u všech čtyř olejů drží na minimu. Podle mého měření obsahuje nejméně vody olej z HP 2. Takto nízký obsah vody je způsoben konstantní teplotou v hale s turbokompresory a její minimální vlhkostí. Číslo kyselosti a bod vzplanutí nebyly ani u jednoho stroje v hodnotách blízcím se mezím. Prvková analýza v žádném ze vzorků neukázala nadměrný výskyt některého prvku, který bychom v oleji již nepředpokládali, mohu tedy říci, že oleje jsou z hlediska obsahu a počtu prvku také v pořádku. Oleje z HP 1 a HP 2 byly filtrovány minimálně jednou za tři roky z důvodů jejich velkého počtu částic zatím co olejová náplň LP 1 a LP 2 přefiltrována nebyla. Olejová náplň byla měněna za novou před pěti lety, takže jednou za devět let provozu turbokompresorů. Díky tomu vím, že současné zhodnocení podle posledních tří/čtyřech let, které jsem v této práci provedl, mohu pokládat za velmi věrohodné a podle něj i určit technický stav turbokompresorů. Technický stav turbokompresorů je podle tribodiagnostických metod velmi dobrý. Další potřebnou informací je fakt, že když je potřeba, stlačit zemní plyn na požadovaný tlak, není nutné, aby byly v provozu všechny čtyři kompresory. V praxi to třeba vypadá tak, že jedou dva LP a jeden HP nebo jeden LP a jeden HP. Vždy podle aktuální potřeby. To vysvětluje rozdíly mezi výsledky měření jednotlivých turbokompresorů. Objektivně na nich není vidět náznak vznikající poruchy. Pro přesnější sledování například HP 1, který při zjišťování počtu a velikosti částic dopadl nejhůře, navrhuji provádět odběry vzorků oleje častěji, cca dvakrát do roka v období jeho provozu.



## 4 Závěr

V úvodu práce jsem popsal historii plynárenství a jeho vývoj v Evropě i v tuzemsku. Jeho dopravu do sítě až ke spotřebitelům, ale i k větším odběratelům. Detailně jsem popsal plynovody putující po Evropě. Krátce následuje popis podzemních zásobníků plynu.

Ve druhé kapitole se zabývám konkrétně podzemním zásobníkem plynu v Třanovicích. Jeho historií výstavby, půdním složením, rozlohou a popisem jednotlivých zařízení pro dopravu zemního plynu. Dále jsem popsal změny parametru PZP Třanovice, důvod změny, a nasazení čtyř turbokompresorů pro rychlejší reakci plynové distribuce.

Třetí, nejobsáhlejší kapitola, se zabývá turbokompresory umístěné v PZP Třanovice. Úvodem jsem popsal funkci turbokompresoru, uvedl technické údaje stroje.

Kapitola pokračuje mazacím systémem kompresorové sady Taurus 60 od společnosti Solar Turbines, a Caterpillar Company. Mazací systém zahrnuje požadavky na olej turbokompresoru, systémy mazání a popis olejové náplně s filtrací oleje. V dalším kroku se věnuji analýze mazacího oleje. Popisují některé metody, které pomáhají zjistit mnohé výskyty nadměrného počtu a velikosti částic kovu, dále zjišťují prvky nebo jiné kapaliny v mazacím oleji. Zmiňují například atomovou spektrometrii, optickou zkoušku na přítomnost částic, zkoušku fyzikálních vlastností nebo určení viskozity oleje. Také uvádím postupy pro odebírání vzorků oleje z olejové nádrže turbokompresoru. Všechny tyto zkoušky uvedené v mé práci doporučuje výrobce.

Poslední částí třetí kapitoly tvoří praktická část, kterou jsem prováděl odběrem vzorků oleje ze čtyř turbokompresorů na PZP Třanovice. Tyto vzorky jsem podrobil testů na kód čistoty, číslo kyselosti TAN, kinematickou viskozitu a obsahu vody v oleji. Vzorky jsem odebral jen jednou v roce 2019 a vyhodnotil. Následující odběry dalšího roku bylo bezvýznamné odebírat, jelikož turbokompresory od roku 2019 nebyly v provozu až do následujícího roku 4 měsíce, protože je zatím díky mírné zimě nebylo potřeba uvádět do provozu. Druhým důvodem jejich větší nečinnosti je také velmi vysoká spotřeba ZP. V minulých letech byly běžně v provozu cca 2 až tři měsíce v roce. Pokud nejsou v provozu delší dobu, musí se jednou za pravidelnou dobu nastartovat a nechat chvíli běžet, aby se promazala všechna mazací místa a nedocházelo na některých místech ke korozi a zvyšování obsahu vody v oleji například změnou teploty. Abych mohl udělat srovnání za více let a určit podle toho vývoj degradace samotného oleje a na základě toho i stroje, byly mi poskytnuty protokoly o výsledcích zkoušek za poslední čtyři roky. Tyto protokoly o měření u PZP jsou prováděny externí firmou. Podle těchto protokolů jsem vyhodnotil stav oleje a celkový vývoj všech čtyř turbokompresorů. Oleje měly v minulosti problém s deemulgační charakteristikou u stroje HP 1 a HP 2. Dále se vyskytoval problém

s překročením meze pro distribuci částic a kód čistoty opět u stejných strojů. U HP 1 bylo překročení vyšší.

Musím konstatovat, že cíle mé diplomové práce, které jsem si stanovil, byly dosaženy. Popsal jsem mazací systém turbokompresoru a vyhodnotil výsledky rozborů olejů. I když jsem provedl jen jedno měření, na základě kterého bych nedokázal určit trend opotřebení stroje, byly mi poskytnuty výsledky protokolu měření, díky kterým jsem mohl určit technický stav turbokompresorů. Díky této diplomové práci jsem nabyl mnoho cenných zkušeností v oblasti tribodiagnostiky a plynárenství, které v budoucnu rozhodně využiji.

## Zdroje

- [1] *Zemní plyn* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/zempl\\_4.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/zempl_4.html)
- [2] *Geologický deník* [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://g.denik.cz/60/eb/6450159-lobodice-rwe-podzemni-zasobnik-plyn-zachranarsky-kriz\\_denik-600.jpg](https://g.denik.cz/60/eb/6450159-lobodice-rwe-podzemni-zasobnik-plyn-zachranarsky-kriz_denik-600.jpg)
- [3] ŘÍHOVÁ, Věra. *PODZEMNÍ USKLADŇOVÁNÍ PLYNU V ČESKÉ REPUBLICE*. Ostrava, 2019. Bakalářská práce. VŠB - Technická universita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Martin Klempa, Ph.D.
- [4] BALWAL, Jan. *Nasazení tribotechnické diagnostiky v provozu motorových kolejových vozidel*. Ostrava, 2018. Bakalářská práce. VŠB - Technická universita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.
- [5] *Solar Turbines, a Caterpillar Company* [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [www.solarturbines.com/en\\_US/products/power-generation-packages/taurus-60.html](http://www.solarturbines.com/en_US/products/power-generation-packages/taurus-60.html)
- [6] *Solar Turbines, a Caterpillar Company* [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20150703-52095-42035>
- [7] *Spektrometr Agilent* [online]. In: . [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [www.agilent.com/cs/publishingimages/5800-icp-oes-instrument-front-1600x1600.jpg](http://www.agilent.com/cs/publishingimages/5800-icp-oes-instrument-front-1600x1600.jpg)
- [8] HELEBRANT, František, Ladislav HRABEC a Jan BLATA. *PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ*. Ostrava, 2013. Skripta. VŠB - Technická universita Ostrava.
- [9] SOLAR Turbines Incorporated. *Operation and Maintenance Instruction Taurus T 60s*. San Diego, 2011.
- [10] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. [i]Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika.[/i] 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6
- [11] ŠAFR, E. [i]Tribotechnika.[/i] Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84
- [12] ŠAFR, E. [i]Technika mazání.[/i] 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70
- [13] HRADECKÝ, F., VLK, M. [i]Tribotechnika.[/i] 1. vydání, Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 297 s.
- [14] JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: [i]Technická měření. [/i]ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

[15] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: [i]Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika. [/i]VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

[16] TŮMA, J.: [i]Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT. [/i]Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

[17] KREIDL, M., ŠMÍD, R.: [i] Technická diagnostika. [/i] BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s. , ISBN 80-7300-157-6

[18] KREIDL, M. a kol.: [i] Diagnostické systémy. [/i] ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

[19] BLATA, J. – Juraszek, J. [i]Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka. [/i] Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 690[i] Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.[/i] Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

FS\_SME\_05\_003 [i] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce [/i] Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2018. 20 s.